



La investigación, su esencia y arte.

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL
TESIS**

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO EN LA ZONA RURAL DE AHUAYCHA - TAYACAJA DURANTE 2023.”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

SEGURIDAD AMBIENTAL Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE:

ACCIÓN POR EL CLIMA

CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO OCDE:

1.05.09

PRESENTADO POR:

Bach. Quispe Quincho, Liz Norma

(ORCID: 0009-0000-4175-0033) <https://orcid.org/0009-0000-4175-0033>

https://ctivitae.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id_investigador=332555

ASESOR:

Dr. Angeles Suazo, Julio Miguel

(ORCID: 0000-0001-8327-9032) <https://orcid.org/0000-0001-8327-9032>

https://ctivitae.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id_investigador=12439

Pampas - Perú

2024

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS EN LA MODALIDAD PRESENCIAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL	
Expediente N° 2-2024-UNAT/FI-EPIFA	Página 1 de 1

En esta acta, se hace constar que en el auditorium de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja "Daniel Hernández Morillo", ubicado en el distrito de Ahuaycha, provincia de Tayacaja, departamento Huancavelica, el día **05 de agosto del 2024**, a las **16:00** horas, se reunieron los miembros del Jurado Calificador designados con Resolución de Comisión Organizadora N° 235-2023-CO-UNAT, de fecha 25 de julio del 2023, con el propósito de llevar a cabo el **Acto de Sustentación** de la tesis de Titulación Profesional:

"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO EN LA ZONA RURAL DE AHUAYCHA - TAYACAJA DURANTE 2023"

Dicha tesis ha sido presentada por la Bachiller en Ingeniería Forestal y Ambiental **LIZ NORMA QUISPE QUINCHO** y asesorada por el docente Dr. **JULIO MIGUEL ANGELES SUAZO** adscrito al Departamento Académico de Ingeniería Forestal y Ambiental

Después de haber calificado el informe final de tesis, escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas por el Jurado, se le declara¹: APROBADO, para optar el **Título Profesional de INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**, con la calificación de 15, que corresponde a la condición²: BUENO.

En consecuencia, la sustentante:

- Queda en condición de recibir el indicado Título Profesional, de conformidad con las normas legales, estatutarias y reglamentarias aplicables en materia del proceso de titulación profesional.
- NO queda en condición de recibir el indicado Título Profesional, de conformidad con las normas legales, estatutarias y reglamentarias aplicables en materia del proceso de titulación profesional.

Siendo las 17:05 horas del mismo día, mes y año, se da por concluido el Acto de Sustentación, firmando a continuación los intervinientes, en señal de conformidad de lo acontecido y consignado.

Mg. JAIRO EDSON GUTIÉRREZ COLLAO Presidente	Dr. ADIEL ÁLVAREZ TICLLASUCA Miembro
Dr. JULIO MIGUEL ANGELES SUAZO Asesor	

1. Indicar: Aprobado y/o Desaprobado.
2. Indicar: Excelente, Muy Bueno, Bueno, Regular y/o Desaprobado.

“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA DANIEL HERNÁNDEZ MORILLO, QUIEN SUSCRIBE:

HACE CONSTAR:

Que el proyecto de tesis titulado: *“EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO EN LA ZONA RURAL DE AHUAYCHA – TAYACAJA DUARANTE 2023”*, desarrollado por la Bachiller en Ingeniería Forestal y Ambiental Quispe Quincho Liz Norma y asesorado por el Dr. Julio Miguel Ángeles Suazo, cumple con los requisitos de conformidad de originalidad mediante (Software Anti plagio Turnitin), evidenciándose en el informe de originalidad un porcentaje de similitud de diecinueve (19%), el cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja.

Se expide la presente constancia para los fines que estime conveniente

Pampas, 10 de julio de 2024



Dr. Gino Paul Prieto Rosales
Director de la Unidad de Investigación de la
Facultad de Ingeniería

979 332 746

<https://unat.edu.pe/>



masdepartes@unat.edu.pe

OFICINA ADMINISTRATIVA:
Jr. Bolognesi N° 416 - 418 - Pampas - Tayacaja - Huancavelica.

OFICINA DE ADMISIÓN:
Jr. Lima, esquina con el Jr. Bolognesi, Plaza Principal.
Pampas - Tayacaja - Huancavelica.

LOCAL ACADÉMICO:
Vía Dni. 200 metros al E. de la Plaza Principal

Agradecimiento

En primer lugar, quisiera agradecer a mi mentor, el ingeniero Julio Miguel Angeles Suazo, quien con su conocimiento y apoyo me guió en todas las etapas de esta investigación para lograr los resultados deseados.

Asimismo, quisiera agradecer los ingenieros de la carrera de Ingeniería Forestal y Ambiental por el apoyo y estímulo que necesité para que mi trabajo de investigación fuera un éxito, como herramientas que son esenciales para el desarrollo de esta investigación y sin esa ayuda estos resultados no serían posibles.

También agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo por haberme otorgado la subvención económica aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 346-2023-CO-UNAT y al proyecto de investigación FOCAM denominado “Calidad de aire por material particulado y su efecto en el balance de energía en Pampas/Tayacaja 2023-2025” aprobado con Resolución de comisión organizadora N° 295-2023-CO-UNAT; por brindarme su apoyo para el desarrollo de esta investigación y estos resultados fueron posibles.

Finalmente, me gustaría agradecer a mis papás, familiares y amigos por el constante apoyo, aliento para no rendirme en el transcurso a pesar de las dificultades. Mención especial hago a mis padres y hermanos quienes me brindaron apoyo incondicional y palabras de consuelo.

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado al Ser Divino, quien guía mi vida, me bendice y me da fuerzas para perseguir mis metas sin desfallecer. A continuación, también me gustaría dedicarlo a mis padres y hermanos quienes me brindaron todo el apoyo incondicional, amor y creencia desde muy joven y durante la vida universitaria para lograr mi carrera y mis metas.

Índice de Contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento de problema.....	1
1.2. Formulación de problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.5.1. Hipótesis general.....	3
1.5.2. Hipótesis específicas.....	4
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Bases conceptuales.....	7
2.2.1. Base legal.....	7
2.2.2. Calidad de aire.....	8
2.2.2.1. Calidad del aire.....	8
2.2.2.2. Aire.....	8
2.2.2.3. Contaminantes del aire.....	9
2.2.2.4. Origen de los contaminantes.....	9
2.2.2.5. Fuentes biogénicas.....	9
2.2.2.6. Fuentes antropogénicas.....	9
2.2.2.7. Clasificación de contaminantes.....	10
2.2.2.7.1. Contaminante primario.....	10
2.2.2.7.2. Contaminantes secundarios.....	10

2.2.2.8. Efectos a la exhibición de material particulado.....	10
2.2.2.9. Estándar de Calidad Ambiental (ECA).....	11
2.2.2.10. Índice de Calidad Ambiental (INCA).....	12
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo de investigación.....	14
3.2. Nivel de investigación.....	14
3.3. Método de investigación.....	14
3.4. Diseño de investigación.....	14
3.5. Población, muestra y muestreo.....	15
3.5.1. Población.....	15
3.5.2. Muestra.....	15
3.5.3. Muestreo.....	15
3.6. Identificación y operacionalidad de variables.....	15
3.6.1. Operacionalidad de variable.....	16
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.7.1. Técnicas e instrumentos.....	18
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	19
3.8.1. Tratamiento estadístico de datos.....	20
3.9. Aspectos éticos y regulatorios.....	20
IV. RESULTADOS.....	20
4.1. Índice de la calidad de aire de material particulado PM _{2,5} ug/m ³	20
4.2. Índice de calidad de aire de material particulado PM ₁₀ ug/m ³	22
4.3. Comparación de la concentración diaria de material particulado PM _{2,5} y PM ₁₀ (ug/m ³) con los estándares de calidad del aire (ECA).....	24
4.4. Variación temporal de moda fina y moda gruesa (PM _{2,5} y PM ₁₀).....	26
4.5. Resultados estadísticos.....	72
V. DISCUSIÓN.....	76

VI. CONCLUSIONES.....	78
VII. RECOMENDACIONES.....	79
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
IX. ANEXOS	83
9.1. Matriz de consistencia	83
9.2. Índice de calidad de aire de material particulado PM _{2,5} ug/m ³	85
9.3. Índice de calidad de aire de material particulado PM ₁₀ ug/m ³	86
9.4. Comparación de la concentración diaria de material particulado PM _{2,5} y PM ₁₀ (ug/m ³) con el ECA	88
9.5. Concentración diaria de PM _{2,5} y PM ₁₀ (ug/m ³)	90
9.6. Panel fotográfico.....	93

Índice de Tablas

Tabla 1 Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (2017), Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.....	7
Tabla 2 Los efectos en la salud humana por exhibición a material particulado PM2,5 y PM10.	10
Tabla 3 Calificación de los valores INCA	13
Tabla 4 Calculo INCA para Material Particulado (PM10) 24 horas	13
Tabla 5 Calculo INCA para Material Particulado (PM2,5) 24 horas	13
Tabla 6 Operacionalidad de variables	16
Tabla 7 Técnicas que se aplico.....	18
Tabla 8 Fuentes vinculados	19
Tabla 9 Concentración diaria de PM2,5 (ug/m ³) del mes de noviembre y diciembre del 2023	72
Tabla 10 Prueba F para varianzas de dos muestras de PM2,5	73
Tabla 11 Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	74
Tabla 12 Concentración diaria de PM10 (ug/m ³) del mes de noviembre y diciembre del 2023	74
Tabla 13 Prueba F para varianzas de dos muestras de PM10	75
Tabla 14 Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	75

Índice de Tablas Anexo

Tabla A 1 Matriz de consistencia	83
Tabla A 2 Concentración de diaria de PM2,5 ug/m ³	85
Tabla A 3 Índice de calidad de aire de PM10 ug/m ³	86
Tabla A 4 Concentración diaria de PM2,5 y PM10 (ug/m ³)	88
Tabla A 5 Concentración diaria de material particulado PM2,5 y PM10 (ug/m ³)	90

Índice de Figuras

Figura 1 Ciclo atmosférico de aerosoles atmosféricos.	12
Figura 2 Periodo de medición y comportamiento de variables.....	14
Figura 3 Portal Giovanni de la NASA	18
Figura 4 Portal del purple air	19

Índice de Figuras Anexo

Figura A 1 Sensor de Colector de Material Particulado (Purple Air)	93
Figura A 2 Instalación del Sensor de Colector de Material Particulado	94
Figura A 3 Recolección de Datos.....	95
Figura A 4 Procesamiento de Datos	95
Figura A 5 Presencia del parque automotor	95

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Índice de la calidad de aire de PM _{2,5} (ug/m ³) turno mañana.....	20
Gráfico 2 Índice de la calidad de aire de PM _{2,5} (ug/m ³) turno tarde	21
Gráfico 3 Índice de la calidad de aire de PM _{2,5} (ug/m ³) turno noche.....	21
Gráfico 4 Índice de la calidad de aire de PM ₁₀ (ug/m ³) turno mañana.....	22
Gráfico 5 Índice de la calidad de aire de PM ₁₀ (ug/m ³) turno tarde	22
Gráfico 6 Índice de la calidad de aire de PM ₁₀ (ug/m ³) turno noche.....	23
Gráfico 7 Comparación de la concentración diaria de PM _{2,5} (ug/m ³) con el ECA	24
Gráfico 8 Comparación de la concentración diaria de PM ₁₀ (ug/m ³) con el ECA	25
Gráfico 9 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 10 de noviembre del 2023.....	26
Gráfico 10 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 10 de noviembre del 2023.....	27
Gráfico 11 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 11 de noviembre del 2023.....	27
Gráfico 12 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 11 de noviembre del 2023.....	28
Gráfico 13 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 12 de noviembre del 2023.....	28
Gráfico 14 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 12 de noviembre del 2023.....	29
Gráfico 15 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 13 de noviembre del 2023.....	29
Gráfico 16 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 13 de noviembre del 2023.....	30
Gráfico 17 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 17 de noviembre del 2023.....	30
Gráfico 18 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 17 de noviembre del 2023.....	31
Gráfico 19 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 18 de noviembre del 2023.....	31
Gráfico 20 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 18 de noviembre del 2023.....	32
Gráfico 21 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 19 de noviembre del 2023.....	32
Gráfico 22 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 19 de noviembre del 2023.....	33
Gráfico 23 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 20 de noviembre del 2023.....	33
Gráfico 24 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 20 de noviembre del 2023.....	34
Gráfico 25 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 24 de noviembre del 2023.....	34
Gráfico 26 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 24 de noviembre del 2023.....	35
Gráfico 27 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 25 de noviembre del 2023.....	35
Gráfico 28 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 25 de noviembre del 2023.....	36
Gráfico 29 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 26 de noviembre del 2023.....	36
Gráfico 30 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 26 de noviembre del 2023.....	37
Gráfico 31 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 27 de noviembre del 2023.....	37
Gráfico 32 Concentración de PM ₁₀ (ug/m ³) del 27 de noviembre del 2023.....	38
Gráfico 33 Concentración de PM _{2,5} (ug/m ³) del 28 de noviembre del 2023.....	38

Gráfico 34 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 28 de noviembre del 2023.....	39
Gráfico 35 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 29 de noviembre del 2023.....	39
Gráfico 36 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 29 de noviembre del 2023.....	40
Gráfico 37 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 30 de noviembre del 2023.....	40
Gráfico 38 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 30 de noviembre del 2023.....	41
Gráfico 39 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 01 de diciembre del 2023.....	41
Gráfico 40 Concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 01 de diciembre del 2023.....	42
Gráfico 41 Concentración de PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 02 de diciembre del 2023.....	42
Gráfico 42 Concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 02 de diciembre del 2023.....	43
Gráfico 43 Concentración de PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 03 de diciembre del 2023.....	43
Gráfico 44 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 03 de diciembre del 2023.....	44
Gráfico 45 Concentración de PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 04 de diciembre del 2023.....	44
Gráfico 46 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 04 de diciembre del 2023.....	45
Gráfico 47 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 05 de diciembre del 2023.....	45
Gráfico 48 Concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 05 de diciembre del 2023.....	46
Gráfico 49 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 06 de diciembre del 2023.....	46
Gráfico 50 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 06 de diciembre del 2023.....	47
Gráfico 51 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 07 de diciembre del 2023.....	47
Gráfico 52 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 07 de diciembre del 2023.....	48
Gráfico 53 Concentración de PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 08 de diciembre del 2023.....	48
Gráfico 54 Concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 08 de diciembre del 2023.....	49
Gráfico 55 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 09 de diciembre del 2023.....	49
Gráfico 56 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 09 de diciembre del 2023.....	50
Gráfico 57 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 10 de diciembre del 2023.....	50
Gráfico 58 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 10 de diciembre del 2023.....	51
Gráfico 59 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 11 de diciembre del 2023.....	51
Gráfico 60 Concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 11 de diciembre del 2023.....	52
Gráfico 61 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 12 de diciembre del 2023.....	52
Gráfico 62 Concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 12 de diciembre del 2023.....	53
Gráfico 63 Concentración de PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 13 de diciembre del 2023.....	53
Gráfico 64 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 13 de diciembre del 2023.....	54
Gráfico 65 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 14 de diciembre del 2023.....	54
Gráfico 66 Concentración de PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 14 de diciembre del 2023.....	55
Gráfico 67 Concentración de PM2,5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del 15 de diciembre del 2023.....	55

Gráfico 68 Concentración de PM10(ug/m ³) del 15 de diciembre del 2023.....	56
Gráfico 69 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 16 de diciembre del 2023.....	56
Gráfico 70 Concentración de PM10(ug/m ³) del 16 de diciembre del 2023.....	57
Gráfico 71 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 17 de diciembre del 2023.....	57
Gráfico 72 Concentración de PM10 (ug/m ³) del 17 de diciembre del 2023.....	58
Gráfico 73 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 18 de diciembre del 2023.....	58
Gráfico 74 Concentración de PM10(ug/m ³) del 18 de diciembre del 2023.....	59
Gráfico 75 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 19 de diciembre del 2023.....	59
Gráfico 76 Concentración de PM10(ug/m ³) del 19 de diciembre del 2023.....	60
Gráfico 77 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 20 de diciembre del 2023.....	60
Gráfico 78 Concentración de PM10(ug/m ³) del 20 de diciembre del 2023.....	61
Gráfico 79 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 21 de diciembre del 2023.....	61
Gráfico 80 Concentración de PM10 (ug/m ³) del 21 de diciembre del 2023.....	62
Gráfico 81 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 22 de diciembre del 2023.....	62
Gráfico 82 Concentración de PM10 (ug/m ³) del 22 de diciembre del 2023.....	63
Gráfico 83 Concentración de PM2,5 (ug/m ³) del 23 de diciembre del 2023.....	63
Gráfico 84 Concentración de PM10(ug/m ³) del 23 de diciembre del 2023.....	64
Gráfico 85 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 24 de diciembre del 2023.....	64
Gráfico 86 Concentración de PM10(ug/m ³) del 24 de diciembre del 2023	65
Gráfico 87 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 25 de diciembre del 2023.....	65
Gráfico 88 Concentración de PM10 (ug/m ³) del 25 de diciembre del 2023.....	66
Gráfico 89 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 26 de diciembre del 2023.....	66
Gráfico 90 Concentración de PM10(ug/m ³) del 26 de diciembre del 2023.....	67
Gráfico 91 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 27 de diciembre del 2023.....	67
Gráfico 92 Concentración de PM10 (ug/m ³) del 27 de diciembre del 2023.....	68
Gráfico 93 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 28 de diciembre del 2023.....	68
Gráfico 94 Concentración de PM10(ug/m ³) del 28 de diciembre del 2023.....	69
Gráfico 95 Concentración de PM2,5(ug/m ³) del 29 de diciembre del 2023.....	69
Gráfico 96 Concentración de PM10 (ug/m ³) del 29 de diciembre del 2023.....	70
Gráfico 97 Concentración de PM2,5 (ug/m ³) del 30 de diciembre del 2023.....	70
Gráfico 98 Concentración de PM10 (ug/m ³) del 30 de diciembre del 2023.....	71
Gráfico 99 Concentración de PM2,5 (ug/m ³) del 31 de diciembre del 2023.....	71
Gráfico 100 Concentración de PM10(ug/m ³) del 31 de diciembre del 2023.....	72

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar los niveles de concentración de material particulado fino (PM_{2,5}) y material particulado grueso (PM₁₀), para estimar el Índice de Calidad de Aire (INCA) por material particulado en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante noviembre y diciembre del 2023. Para la recopilación de datos se utilizó el sensor de colector de material particulado, donde se eligió un punto de monitoreo por una muestra diaria durante dos meses (noviembre a diciembre) y fichas de recolección de datos. Asimismo, para la determinación de INCA se hizo uso de las fórmulas establecidas por el Ministerio del Ambiente del Perú. Donde se obtuvo los siguientes resultados que la concentración diaria del material particulado PM_{2,5} y PM₁₀ fue 14,29 y 15,90 ug/m³ respectivamente. El Índice de Calidad de Aire de material particulado moda fina (PM_{2,5}) para turno mañana es de 40,43% es moderado, turno tarde es 62,22% es bueno y turno noche 55,56% es malo quiere decir que es perjudicial para la salud de las personas porque les puede causar distintos tipos de enfermedades al estar expuestas. Caso contrario ocurre con el INCA para MP₁₀ que para los turnos mañana, tarde y noche es bueno.

Palabras clave: Material particulado, calidad de aire, Ahuaycha.

Abstract

The main objective of this research is to determine the concentration levels of fine particulate matter (PM_{2.5}) and coarse particulate matter (PM₁₀), to estimate the Air Quality Index (INCA) for particulate matter in the rural area of Ahuaycha - Tayacaja, during November and December 2023. For data collection, the particulate matter collector sensor will be used, where a monitoring point will be chosen for a daily sample for two months (November to December) and data collection sheets. Likewise, to determine INCA, the formulas established by the Ministry of the Environment of Peru will be used. Where the following results were obtained that the daily concentration of particulate matter PM_{2,5} and PM₁₀ was 14,29 and 15,90 ug/m³ respectively. The air quality index of fine particulate matter (PM_{2,5}) for the morning shift is 40,43%, it is moderate, the afternoon shift is 62,22%, it is good, and the night shift is 55,56%, it is bad, which means that it is harmful to the environment. people's health because it can cause different types of diseases when exposed. The opposite happens with the INCA for MP₁₀, which is good for morning, afternoon and night are good.

Keywords: Particulate matter, air quality, Ahuaycha.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2021), la contaminación del aire es un problema escala global, un cambio adverso en las propiedades químicas, biológicas y físicas del aire, que se considera una amenaza para el ambiente y las personas, y que provoca efectos adversos como el deterioro y degradación de las condiciones de vida humanas de los recursos naturales existentes, que siempre deben ser monitoreados para evitar consecuencias.

Organización Mundial de la Salud [OMS] (2021) señala que, existen diferencias entre los grupos de población y las ubicaciones; por ejemplo, las personas que viven cerca de carreteras y las zonas industriales están expuestas a una mayor contaminación del aire exterior. En algunos casos, las diferencias en estos niveles de exposición entre grupos de población pueden estar relacionados con desigualdad en el desarrollo, implementación y cumplimiento de las regulaciones ambientales existentes.

El no tener una carretera asfaltada durante la movilización de automóviles, ocasiona diversos tipos de alteraciones en la calidad del aire, lo más relevante que se puede observar es el incremento de material particulado de moda fina y moda gruesa, donde tienden a dispersarse y desplazarse desde su fuente de emisión hacia donde la corriente del viento los traslade. Por tal motivo, se desarrolló dicha investigación, ya que es de gran importancia porque tiene efectos en la salud del ser humano.

1.1. Planteamiento de problema

La calidad de aire es uno de los principales factores que controlan los niveles de contaminación en el ambiente, y una buena calidad es un requisito previo para una vida y un estilo de vida saludable (Asghar et al., 2024). Los efectos directos de los materiales particulados son importantes donde pueden variar dependiendo de su tamaño, composición y concentración, así como de la duración y frecuencia de la exposición (Carson, 2010). Las partículas con diámetros $\leq 10 \mu\text{m}$ (MP10) y $2,5 \mu\text{m}$ (MP2,5) pueden tener diversas fuentes de emisión, tales como plantas de energía, fábricas de cemento, volcanes, incendios forestales, aerosoles, entre otros. Además, estas partículas pueden ser emitidas tanto por fuentes no puntuales como camiones, automóviles, cultivos agrícolas y sitios de construcción. Se ha observado que las partículas más pequeñas tienen una mayor permanencia en el aire debido a su tamaño y densidad (Barrientos y Espinoza, 2021).

PM 2,5 es reconocido como uno de los principales contaminantes del aire en el Perú, en la ciudad de Lima se atribuyen a este contaminante 2 300 muertes prematuras al año y también las partículas están estrechamente asociadas con los efectos adversos graves para la salud, como la disminución de la esperanza de vida, el aumento de la morbilidad, el cáncer de pulmón y las enfermedades respiratorias y cardíacas crónicas (Lizarraga-Isla et al., 2019). Un informe que utilizó datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016-2019), estimó que alrededor de 4,2 millones de personas están expuestas a niveles de contaminación del aire que acortan la vida, principalmente debido a PM2,5; también el 31% de las muertes prematuras asociadas a la contaminación del aire exterior se ha relacionado con un mayor riesgo de padecer cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, los cuales representan el 18% y el 23% de las muertes asociadas a enfermedades.

Tomando en cuenta las fuentes mencionadas anteriormente, se logra afirmar que la evaluación de la calidad del aire en la zona rural Ahuaycha, ubicada en la Provincia Tayacaja de la Región Huancavelica, es un asunto relevante debido a que la vía de acceso no se encuentra asfaltada, lo que genera la alta propagación de material particulado; debido a ello, se planteó la evaluación de la calidad del aire por material particulado en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023.

1.2. Formulación de problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la calidad del aire por material particulado en la zona rural de Ahuaycha – Tayacaja, durante el año 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la calidad del aire por material particulado de moda fina en la zona rural de Ahuaycha – Tayacaja, durante el año 2023?
- ¿Cuál es la calidad del aire por material particulado de moda gruesa en la zona rural de Ahuaycha – Tayacaja, durante el año 2023?
- ¿Cuál es la comparación de la concentración diaria de material particulado de moda fina y gruesa con los estándares de calidad ambiental establecido por el Ministerio del Ambiente?
- ¿Cuál es la variabilidad temporal de material particulado de moda fina y gruesa en la zona rural de Ahuaycha – Tayacaja, durante el año 2023?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de aire por material particulado en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estimar la calidad del aire por material particulado de moda fina en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023.
- Estimar la calidad del aire por material particulado de moda gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023.
- Comparar la concentración diaria de material particulado de moda fina y gruesa con los estándares de calidad ambiental establecido por el Ministerio del Ambiente.
- Determinar la variabilidad temporal de material particulado de moda fina y gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023.

1.4. Justificación

La calidad del aire es un factor ambiental fundamental que tiene un gran impacto en la salud cuando se encuentra en altas concentraciones; por ello, es importante considerar la disponibilidad de los distintos recursos para evaluar y controlar la calidad del aire, con el fin de prevenir posibles impactos negativos en la salud de la población. Por tal motivo, es importante evaluar la calidad del aire por material particulado en la zona rural Ahuaycha – Tayacaja, el cual se comparó con la normativa peruana vigente y propondrá medidas de gestión de calidad de aire para el lugar en estudio.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La calidad del aire por material particulado en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023, es moderada.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La calidad del aire por material particulado de moda fina en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023, es moderada en relación a los umbrales INCA¹ para moda fina.
- La calidad del aire por material particulado de moda gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023, es moderada en relación a los umbrales INCA para moda gruesa.
- La concentración diaria de material particulado de moda fina y gruesa con los estándares de calidad ambiental establecido por el Ministerio del Ambiente, superan los estándares de calidad ambiental.
- La variabilidad temporal material particulado de moda fina y gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023, supera los estándares de la calidad ambiental.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Según Zhang et al. (2023), la calidad del aire en China tiene una mejora significativamente en la última década y, en consecuencia, las características de las PM_{2,5} también han cambiado. Estudiamos la variación interanual de PM_{2,5} en Chengdu, una de las megaciudades más contaminadas del suroeste de China, durante la temporada más contaminada (invierno). Nuestros resultados muestran que las concentraciones masivas de PM_{2,5} disminuyeron significativamente año tras año, de $195,8 \pm 91,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el invierno de 2016 a $96,1 \pm 39,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el invierno de 2020. Se identificaron cuatro fuentes de PM_{2,5}: fuentes de combustión, emisiones vehiculares, polvo y aerosoles secundarios. Los aerosoles secundarios hicieron la mayor contribución y aumentaron año tras año, del 40,6% en el invierno de 2016 al 46,3% en el invierno de 2020. Por el contrario, la contribución de las fuentes de combustión disminuyó del 14,4% al 8,7%.

Según Wang et al. (2024), la quema de biomasa (BB) es una fuente de emisión muy importante que impacta significativamente negativamente la calidad del aire regional. BB produce una gran cantidad de aerosoles orgánicos primarios (POA) y carbono negro (BC). Además, el BB también proporciona muchos precursores para la

¹ (Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, 2016)

generación de aerosoles orgánicos secundarios (SOA). En este trabajo, se utilizó la proporción de levoglucosano (LG) a carbono orgánico (OC) y el mapa de puntos críticos de incendio para identificar los eventos de quema de biomasa abierta (OBB), que ocurrieron en dos episodios representativos, del 13 de octubre al 30 de noviembre de 2020 y del 1 de abril al 30 de abril de 2021. La proporción de aerosol orgánico (OA) a la concentración de PM_{2,5} reconstruida (PM_{2,5}) aumentó con el aumento de LG/OC. Cuando la relación LG/OC es superior a 0,03; la relación OA/PM_{2,5} más alta puede alcanzar el 80%, lo que significa que la contribución de OBB a OA es crucial. Según la proporción de LG a K⁺, LG a manosan (MN) y las características regionales de Longfengshan, se puede determinar que los residuos de la cosecha son el principal combustible. La aparición de OBB coincide con las opciones preferidas de los agricultores. Los factores meteorológicos afectan indirectamente la contaminación regional por combustión de biomasa al influir en las decisiones activas de los agricultores.

Por otra parte Lopes et al. (2024), afirma que alto porcentaje de la población mundial vive en áreas donde las concentraciones de contaminantes del aire exceden las pautas de la Organización Mundial de la Salud. Este trabajo tiene como objetivo desarrollar y probar un sistema de modelado de la contaminación del aire a múltiples escalas de alta resolución mediante la integración de un conjunto de herramientas adecuadas. Este sistema es capaz de proporcionar concentraciones detalladas de contaminantes del aire en áreas urbanas y respaldar estrategias de gestión de la calidad del aire mediante una mejor identificación de los diferentes procesos atmosféricos. También permite avanzar en el diseño y evaluación de medidas de control de la contaminación del aire para un área específica. Para evaluar su rendimiento e idoneidad, el sistema se aplicó en la Región Administrativa Especial (RAE) de Macao, China, una de las zonas más densamente pobladas del planeta, durante un período invernal en el que esta zona se ve afectada por altos niveles de materia particulada (PM). Aunque el sistema desarrollado tiende a subestimar las concentraciones de PM, reveló un buen desempeño en la reproducción de los patrones de contaminación del aire temporales y espaciales. Se calcularon varias superaciones de los estándares chinos de calidad del aire y se estimó una alta exposición de la población a la contaminación por partículas. Los escenarios de reducción de emisiones atmosféricas urbanas probados han mostrado mejoras en la calidad del aire, lo que indica que las medidas de reducción

de emisiones a nivel urbano deberían centrarse en el sector doméstico. Sin embargo, es crucial implementar estrategias conjuntas de prevención de la contaminación con las regiones vecinas para mejorar la calidad del aire en la RAE de Macao. El enfoque desarrollado en este trabajo consigue ayudar a los responsables de la formulación de políticas a definir nuevas tácticas para reducir la contaminación atmosférica en las zonas urbanas.

Tarazona y Fonseca (2022), en su estudio de la “Evaluación de la calidad de aire por emisiones de material particulado (PM10) en la vereda Mochuelo - Alto Bogotá D.C.” identificaron la cuantificación de partículas (PM10), para lo cual, usó la metodología de cuantificación mixta. El método aplicado fue deductivo y analítico, mediante la cual se determinó las concentraciones de PM10 en el mes de abril que fue $154,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en mayo no sobrepasó la normativa colombiana, junio la concentración aumentó a $158,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero en julio se mantuvo dentro de los límites establecidos por la normativa, en agosto fue la concentración disminuye significativamente a $4,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en septiembre se registró una concentración de $103,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en octubre se obtuvo un dato máximo de $115,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en noviembre la concentración de moda gruesa fue de $15,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y por último concluye que el 89% de los días cumplen por ende se encuentran en la categoría moderada de buena que es establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Este estudio de Shehzad et al. (2023), exploró el impacto de las plantaciones en tejados sobre la calidad del aire local en condiciones agroecológicas de Lahore y Faisalabad. Se utilizó un dispositivo de detección optoelectrónico para capturar la concentración de partículas, mientras que la detección de metales pesados se llevó a cabo a partir de muestras de polvo recolectadas al azar de diferentes sitios sin o con niveles variables de cobertura vegetal en comparación con los techos desnudos. Se reveló que la tasa promedio de suspensión de partículas era entre un 13% y un 24% menor en los jardines de techos en comparación con los techos desnudos, mientras que se detectaron cantidades más altas de metales pesados en las muestras de polvo de techos desnudos. El plomo era máximo en el centro de la ciudad y en las áreas de referencia de ambas ciudades, mientras que era el metal pesado más ubicuo en todos los lugares que el zinc, el cobre y el níquel combinados. El índice de carga contaminante reveló que Lahore tiene un mayor nivel de carga contaminante en comparación con Faisalabad. Además, el índice de carga contaminante de Lahore se generaliza como máximo en el

centro de la ciudad (1,64), seguido de la línea de base (1,48), el techo típico (0,98), el jardín en la azotea (0,78), mientras que el jardín estándar tiene el mínimo (0,75). En Faisalabad, se registró un índice de carga contaminante alto en el centro de la ciudad (1,48), la línea de base (1,36) y el techo típico (1,08), mientras que el jardín estándar y el jardín en la azotea se escalaron a un nivel de contaminación bajo con un índice de carga contaminante de 0,69 y 0,60. Los resultados confirmaron que las plantaciones en forma de árboles grandes únicamente o las plantaciones con árboles pequeños, arbustos y coberturas del suelo fueron efectivas para capturar polvo y metales pesados en comparación con áreas sin vegetación alguna. Por el contrario, la plantación en tejados fue tan eficaz como la plantación en suelo en comparación con los tejados desnudos para mitigar la carga contaminante en zonas urbanas. El estudio sugirió que la utilización de techos en áreas residenciales y comerciales de Faisalabad y Lahore podría ser una estrategia eficaz para contrarrestar la contaminación del aire en un futuro próximo.

2.2. Bases conceptuales

2.2.1. Base legal

Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (2017), aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.

Tabla 1

Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (2017), Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.

Parámetros	Periodos	Valor (ug/m ³)	Criterio de evaluación
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM10)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año
	Anual	50	Media aritmética anual
Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM2,5)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año
	Anual	25	Media aritmética anual

NE: No exceder

Vigencia: a partir de junio del 2017

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (2017)

2.2.2. Calidad de aire

2.2.2.1. Calidad del aire

Es esencial preservar la calidad del aire, puesto que una persona respira alrededor de 3 000 galones de aire al día. Para lograrlo es necesario mantener los componentes del aire en equilibrio, según los porcentajes establecidos en la atmósfera. Si se introduce alguna sustancia al aire o se agrega el porcentaje de algún compuesto, se produce contaminación, lo que puede representar un peligro para el medio ambiente y la salud humana (Orozco et al., 2011).

Modelado de la calidad del aire

Los modelos de calidad del aire (AQM) utilizan métodos cuantitativos y cálculos avanzados para representar como los contaminantes se propagan y transforman en el aire, modelando las interacciones físico-químicas que ocurren en la atmósfera. Estos modelos tienen como objetivo establecer la relación entre las fuentes de contaminantes del aire y sus efectos sobre la calidad del aire ambiente. Son esenciales para identificar las fuentes que contribuyen a los problemas de calidad del aire y ayudar a diseñar estrategias eficaces para reducir los contaminantes nocivos del aire sirviendo de base para la toma de decisiones y la gestión de la calidad del aire (Al-Saadi et al., 2005; EPA, 2023).

Entre los modelos de calidad del aire, se conocen tres tipos: modelos de dispersión, fotoquímicos y receptores (Campos-Bravo et al., 2023; EPA², 2023; USEPA³, 2001). Los modelos de dispersión utilizan ecuaciones matemáticas para caracterizar los procesos atmosféricos para simular el esparcimiento de contaminantes liberados por una fuente y cuantificar el impacto de estas emisiones en los receptores a favor del viento. Estos modelos se suelen utilizar en normativas para evitar el deterioro de la calidad del aire (EPA, 2023; USEPA, 2001).

2.2.2.2. Aire

El aire se define como “una mezcla de gases, vapor de agua y de partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos pocos nanómetros hasta 0,5 milímetros los cuales juntos rodean la tierra” (Organización Mundial de la Salud, 2005).

² Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.

³ Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.

2.2.2.3. Contaminantes del aire

Hay varios contaminantes, pero hay cinco tipos que pueden afectar significativamente la salud si se inhalan: ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y material particulado (PM10 y PM2,5). Además, el dióxido de carbono también es considerado un contaminante debido a su gran contribución al efecto invernadero (Vega-Aragón, 2010).

Sustancia o elemento que son peligrosos para la salud y el bienestar humanos cuando está presente en el aire en una determinada concentración, descrito en el Título I, del Decreto núm. 74-2001-PCM, artículo 3° inciso b); reglamento de ECA del aire.

2.2.2.4. Origen de los contaminantes

Las dos categorías de sustancias nocivas en la atmósfera se basan en si origen, que se remota a procesos naturales o actividades humanas (Lozano et al., 2018).

2.2.2.5. Fuentes biogénicas

Los factores de contaminación asociados con la gestión incluyen la erosión y los riesgos de incendios causados por tormentas, erupciones volcánicas u otros eventos naturales (Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile, 2016)

2.2.2.6. Fuentes antropogénicas

La quema de materiales, ya sea de las industrias, de automóviles o de las casas, son las principales causas de contaminación humana. Esta categorización incluye tanto fuentes fijas como fuentes móviles (Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile, 2016).

Una fuente predeterminada equivale a una fuente preestablecida en ubicaciones físicas arbitrarias, como operaciones comerciales o mineras (Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile, 2016)

Las fuentes móviles de contaminación incluyen una variedad de vehículos terrestres como automóviles, autobuses, coches, camiones y motocicletas que circulan por las vías. Además, en esta categoría abarca aeronaves comerciales que surcan los cielos y diversas clases de embarcaciones que navegan por las aguas, todos ellos contribuyendo a la emisión de contaminantes en sus respectivos entornos (Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile, 2016).

2.2.2.7. Clasificación de contaminantes

Dependiendo de la fuente de contaminación, esto con la finalidad de una mejor comprensión se puede dividir en dos categorías: primaria y secundaria con el objetivo de optimizar su distribución, procesamiento, análisis o eliminar estos contaminantes mencionados (Boldo et al., 2014).

2.2.2.7.1. Contaminante primario

En cuanto a los principales contaminantes, estos contaminantes consisten directamente de fuentes de emisión como estufas hogareñas, conductos de humo, efluentes de complejos productivos y unidades móviles; estos ejemplos muestran las principales fuentes, en realidad se trata de sustancias que se detectan mediante emisiones atmosféricas (Boldo et al., 2014).

2.2.2.7.2. Contaminantes secundarios

En base a los contaminantes secundarios, se encontraron continuo con fuentes primarias ya que se producen mediante procedimientos químicos en una capa de la atmosfera; otra forma de verlo es cuando los contaminantes secundarios son mezcla de sustancias y componentes principales o reactivos donde forman nuevos componentes, esta mezcla se produce por cuenta propia o artificial en la atmosfera (Boldo et al., 2014).

2.2.2.8. Efectos a la exhibición de material particulado

Las partículas tienen un impacto significativo en el ambiente y en las condiciones de vida, afectando desde el clima hasta la visibilidad del entorno. Además, pueden tener consecuencias graves en los ecosistemas y, especialmente en la salud humana (según se muestra en la tabla 2). Estas partículas pueden generar efectos críticos en diferentes destinatarios, como plantas, hábitat y seres vivos (Ballester-Díez et al., 1999).

Tabla 2

Los efectos en la salud humana por exhibición a material particulado PM_{2,5} y PM₁₀.

CONCENTRACIÓN (ug/m ³)	EFEECTO OBSERVADO	IMPACTO
200	Disminución de capacidad respiratoria	Moderado

250	Aumento de enfermedades respiratorias en ancianos y niños	Moderado
400	Afecta a toda la población	Grave
500	Aumento de mortalidad en adulto mayor y enfermos.	Muy grave

Fuente: (Ballester-Diez et al., 1999)

2.2.2.9. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

El MINAM ha establecido Estándares de Calidad Ambiental (ECA) que definen los valores máximos permitidos de contaminantes en el ambiente. El objetivo es asegurar la preservación de la calidad ambiental a través del uso de herramientas sofisticadas de gestión y evaluación ambiental detallada (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019).

Contaminación atmosférica

La contaminación del aire es causada por todo tipo de actividades, fenómenos y sustancias presentes en la atmósfera en condiciones superiores a los niveles ambientales normales y que contribuyen al deterioro de la calidad natural de la atmósfera, causando daños a los seres humanos y al ambiente (Seinfeld et al., 2006).

Materia particulada (PM)

Se encuentran en la atmósfera y son partículas sólidas o líquidas cuya suspensión constituye un aerosol (excluidas las partículas de las nubes). Las partículas se originan a partir de una amplia variedad de fuentes naturales y antropogénicas. Las naturales son el polvo del viento, la espuma del mar y las erupciones volcánicas y las antropogénicas incluyen la quema incompleta de combustibles fósiles (Seinfeld et al., 1998).

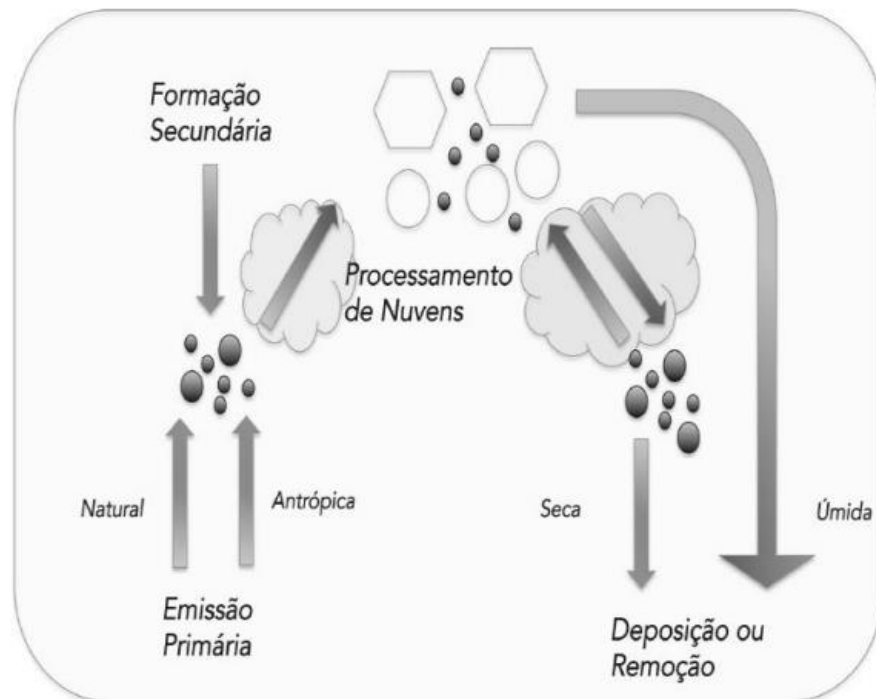
Las partículas emitidas directamente desde su fuente se consideran:

Los aerosoles primarios y los formados en la atmósfera por procesos de conversión de gases y/o condensación de compuestos gaseosos en partículas de aerosoles preexistentes, forman el aerosol secundario (Seinfeld et al., 2006).

Las partículas $< 2,5 \mu\text{m}$ de diámetro se consideran partículas en modo fino y se subdividen en partículas en modo acumulación, con un diámetro entre $0,08 \mu\text{m}$ y $1 \mu\text{m}$ a $2 \mu\text{m}$, y partículas con un diámetro entre $0,01 \mu\text{m}$ y $0,08 \mu\text{m}$, denominadas partículas de forma de núcleo. La distinción entre el tamaño de las partículas es fundamental en relación con los efectos físicos, químicos y de estimación de la vida útil (Seinfeld et al., 1998).

Figura 1

Ciclo atmosférico de aerosoles atmosféricos.



Fuente: (Seinfeld et al., 1998).

2.2.2.10. Índice de Calidad Ambiental (INCA)

El Índice de Calidad del Aire (INCA) tiene un valor óptimo entre 0 y 100, que cumple con los Estándares de Calidad Ambiental del Aire. El INCA se divide en cuatro categorías o calificaciones de calidad del aire para una mejor comprensión. La banda verde significa que la calidad del aire es buena, con valores de 0 a 50. La banda amarilla significa una calidad de aire moderada, con valores de 51 a 100. La banda anaranjada, con valores de 101 y el valor umbral del estado de cuidado (VUEC) del contaminante, señala una mala calidad del aire. Finalmente, la banda roja evidencia que la calidad es mayor al valor umbral del estado de cuidado del contaminante, y a partir de este valor se aplican los Niveles de Estados de Alerta Nacionales por parte de la autoridad de Salud (Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, 2016). Las

Tablas 3, 4 y 5 muestran los cálculos del INCA para los contaminantes referidos en este estudio.

Tabla 3

Calificación de los valores INCA

<i>Calificación</i>	<i>Valores INCA</i>	<i>Colores</i>
Bueno	0-50	Verde
Moderado	51-100	Amarillo
Malo	101-VUEC*	Anaranjado
VUEC^{4*}	>VUEC*	Rojo

Fuente: (Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, 2016)

Tabla 4

Calculo INCA para Material Particulado (PM10) 24 horas

<i>Material particulado (PM10) promedio 24 horas</i>		
<i>Intervalo del INCA⁵</i>	<i>Intervalo de concentraciones (ug/m³)</i>	<i>Ecuación</i>
0-50	0-75	$I(PM10) = \frac{((PM10) \times 100)}{150}$
51-100	76-150	
101-167	151-250	
>167	>250	

Fuente: (Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, 2016)

Tabla 5

Calculo INCA para Material Particulado (PM2,5) 24 horas

<i>Material particulado (PM2,5) promedio 24 horas</i>

⁴ Valor Umbral del Estado de Cuidado

⁵ Índice de Calidad del Aire

<i>Intervalo del INCA</i>	<i>Intervalo de concentraciones (ug/m³)</i>	<i>Ecuación</i>
0-50	0-12,5	$I(PM_{2,5}) = \frac{((PM_{2,5}) \times 100)}{25}$
51-100	12,6-25	
101-500	25,1-125	
>500	>125	

Fuente: (Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, 2016)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La investigación fue aplicada, ya que según las mediciones en campo del material particulado se utilizó el modelo matemático del INCA, donde nos estimó la calidad de aire.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue descriptivo – correlacional (Hernández, 2006), porque se describió el comportamiento del material particulado de moda fina y gruesa y la relación entre ambas variables.

3.3. Método de investigación

El método fue inductivo porque comenzó de lo específico (a partir de coleccionar material particulado) hasta lo general que es la estimación de la calidad de aire utilizando la metodología establecida por el Ministerio del Ambiente.

3.4. Diseño de investigación

Según (Hernández , 2004), el diseño es descriptivo longitudinal como se muestra en la Figura 2:

Figura 2

Periodo de medición y comportamiento de variables

Periodo de medición y comportamiento de variables:

Ox | Noviembre | Diciembre

Oy | Noviembre | Diciembre

Donde:

OX: Observación y concentración de MP10

OY: Observación y concentración de MP2,5

3.5. Población, muestra y muestreo

3.5.1. Población

Es la data de material particulado de PM2,5 y PM10 en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante noviembre a diciembre del 2023.

3.5.2. Muestra

Se consideró toda la data diaria para la concentración (MP2,5 n=46, MP10 n=46) durante noviembre a diciembre del 2023.

3.5.3. Muestreo

Muestreo por conveniencia

3.6. Identificación y operacionalidad de variables

Variable independiente: Material particulado

- Material particulado menor a 10um y mayor a 2,5um.
- Material particulado menor a 2,5um.

Variable dependiente: Calidad de aire

3.6.1. Operacionalidad de variable

Tabla 6

Operacionalidad de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento
Variable independiente Material particulado	Las partículas con un grupo de materiales en forma sólida o líquida con un diámetro total no superior a 19 o 20 um que permanecen suspendidos en el aire porque sus dimensiones son lo suficientemente pequeñas como para producir tal efecto de suspensión (Boldo et al., 2014).	El material particulado será evaluado mediante un colector de partículas de moda fina y gruesa.	PM2,5	PM2,5	ug/m ³	Ficha de recolección de datos. Sensor de
			PM10	PM10	ug/m ³	colector de material particulado

Variable dependiente	Calidad de aire	El INCA del aire es una cifra que proporcionan autoridades de una zona y refleja las cantidades de contaminantes presentes en el aire (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019)	Para medir la calidad de aire se aplicará el INCA que es la metodología para determinar el índice de la calidad de aire para material particulado PM10 y PM2,5.	Índice de calidad de aire según el método del INCA para PM2,5.	$I(PM_{2,5}) = \frac{((PM_{2,5}) \times 100)}{25}$	ug/m ³	Fórmula de INCA
				Índice de calidad de aire según el método del INCA para PM10.	$I(PM_{10}) = \frac{((PM_{10}) \times 100)}{150}$	ug/m ³	Fórmula de INCA

Fuente: Elaboración propia

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó la técnica de la observación, los cuales permitieron la recolección de información a través de la investigación de campo, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Técnicas que se aplico

Fase	Fuente	Instrumento/ herramienta	Resultados
Variable 1: Material particulado			
Diseño del plan monitoreo	Información bibliográfica	Sensor de colector de material particulado	Plan de monitoreo bien elaborado.
Metodología del monitoreo	Protocolo de monitoreo.	Microsoft Excel (procesar data)	Obtención de datos de concentración de moda fina y gruesa.
Variable 2: Calidad del aire			
Determinar la calidad del aire	Fórmula de INCA	Fórmula de INCA	Determina la calidad del aire.

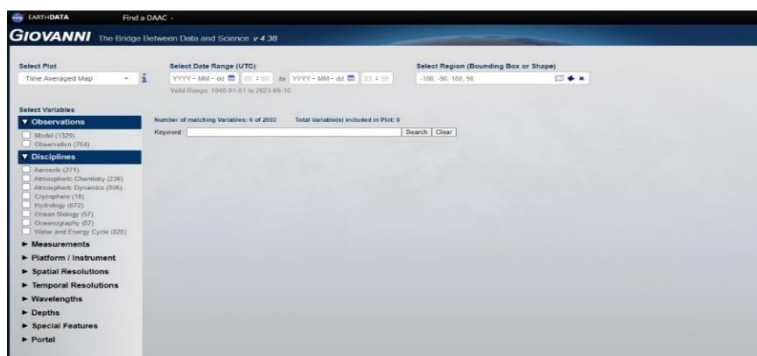
Fuente: Elaboración propia

3.7.1. Técnicas e instrumentos

Se utilizó el sensor MODIS del portal de la NASA, que nos permitió obtener la data de las propiedades físicas del material particulado. Asimismo, el modelo HYSPLIT del NOAA que proporcionó la data de transporte transfronterizo de contaminantes atmosféricos y, por último, el sensor de colector de material particulado.

Figura 3

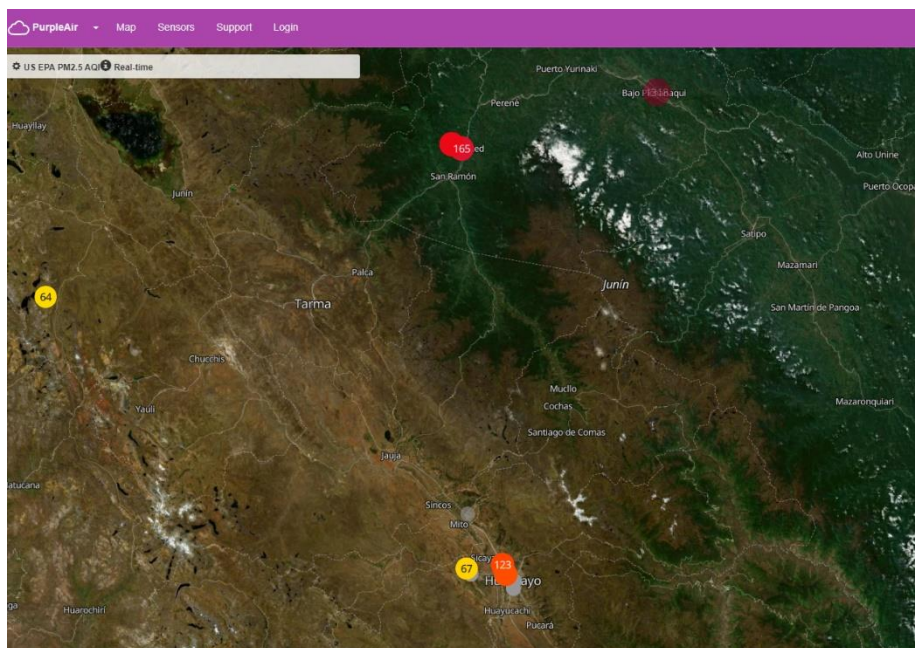
Portal Giovanni de la NASA



Fuente: (Pippal et al., 2024).

Figura 4

Portal del purple air



Fuente:(Dimitriou et al., 2023)

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

– **Determinación de los parámetros a monitorear**

Los parámetros priorizados se encuentran en función a las fuentes vinculadas, lo cual se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8

Fuentes vinculados

Fuente vinculadas	Parámetros a priorizar
Parque automotor, vías no pavimentadas y zonas urbanas.	PM10 y PM2,5

Fuente: Ministerio del Ambiente

– **Instalación del colector de material particulado**

Antes de llevar a cabo la medición, se procedió a identificar el número y lugar del punto de monitoreo. La instalación de las estaciones de monitoreo, se realizó en lugares despejados que permitieron un trayecto mínimo de 10 metros alrededor del equipo de monitoreo, sin presencia de árboles o edificios que pudieran interferir en la medición.

Se constató la presencia de una carretera sin asfaltar con gran número de vehículos, lo cual generó una dispersión del material particulado en direcciones distintas y dificultó su captación. Por ese motivo, se decidió instalar la estación de monitoreo a una distancia de 10 metros de la carretera por 24 horas mínima para ambos parámetros con una muestra diaria durante noviembre a diciembre del 2023.

– **Determinación de moda fina (PM_{2,5}) y moda gruesa (PM₁₀)**

A fin de determinar los datos se realizaron los siguientes procedimientos:

- ✓ Elaboró un mapa donde se incluyó el punto de monitoreo correspondiente.
- ✓ Instaló y programó el muestreador de material particulado para el respectivo monitoreo por un periodo de 24 horas.

3.8.1. Tratamiento estadístico de datos

El uso de una prueba de T de Student se diseñó para controlar las diferencias entre dos muestras independientes y pequeñas, que tienen diferencia en la distribución normal y uniformidad de sus varianzas (Jornet, 2014), en este caso se utilizó para los datos de concentración de material particulado.

3.9. Aspectos éticos y regulatorios

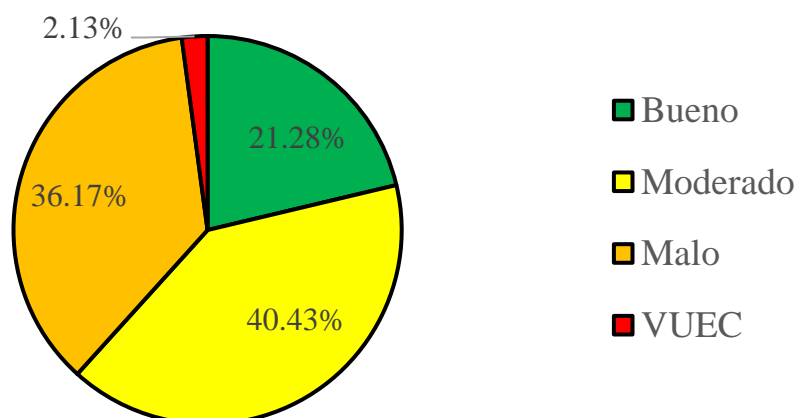
Está basada en el código de ética de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo.

IV. RESULTADOS

4.1. Índice de la calidad de aire de material particulado PM_{2,5} ug/m³

Gráfico 1

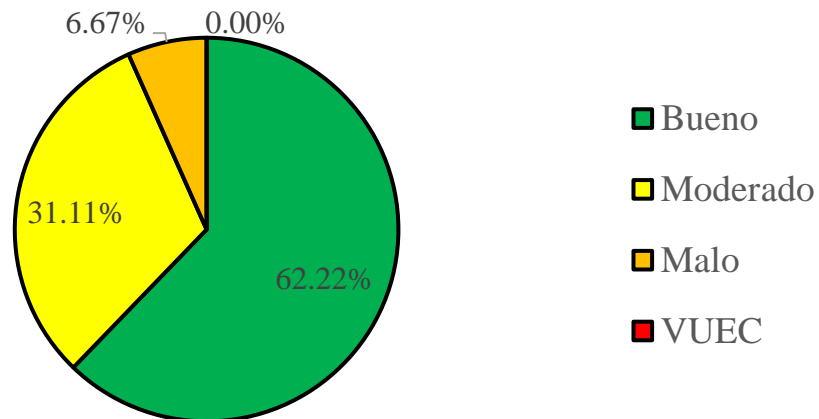
Índice de la calidad de aire de PM_{2,5} (ug/m³) turno mañana



En el gráfico 1, se muestra el índice de calidad del aire para PM2,5 turno mañana, donde el 40,43% de la calidad del aire es moderado, 36,17% de la calidad del aire es malo, 21,28% de la calidad del aire es bueno y 2,13% de la calidad del aire es VUEC⁶ quiere decir es muy malo para la salud.

Gráfico 2

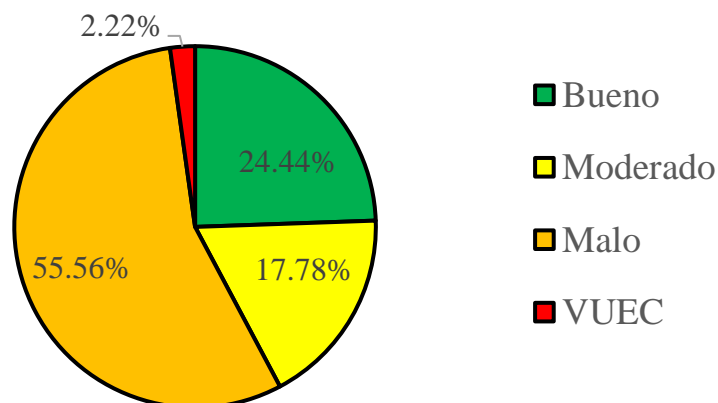
Índice de la calidad de aire de PM2,5 (ug/m³) turno tarde



En el gráfico 2, se muestra el índice de calidad del aire para PM2,5 turno tarde, el 62,22% de la calidad del aire es bueno, 31,11% de la calidad del aire es moderado, 6,67% de la calidad del aire es malo y 0,00% de la calidad del aire es VUEC. Por ello podemos decir que la calidad del aire en turno tarde es buena y es beneficioso para la salud de los seres humanos porque así no les causará enfermedades respiratorias al estar expuestos.

Gráfico 3

Índice de la calidad de aire de PM2,5 (ug/m³) turno noche



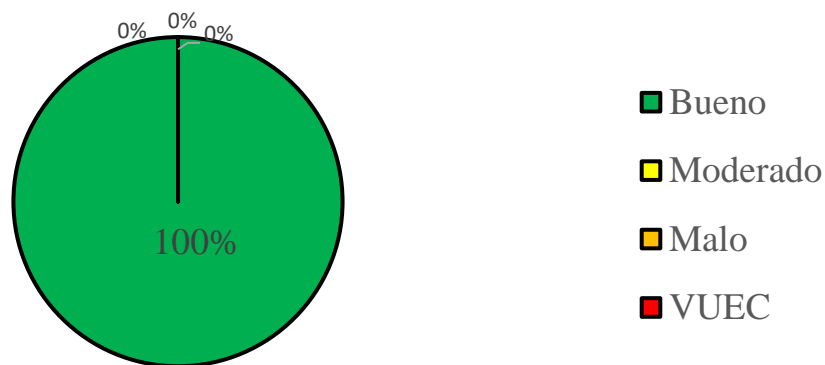
⁶ Valor Umbral del Estado de Cuidado

En el gráfico 3, se muestra el índice de calidad del aire para PM2,5 turno noche, donde el 55,56% de la calidad del aire es malo, 24,44% de la calidad del aire es bueno, 17,78% de la calidad del aire es moderado y el 2,22% de la calidad del aire es VUEC quiere decir es muy malo para la salud. Por ello podemos decir que la calidad del aire en turno noche es malo y es muy perjudicial para la salud de las personas porque les puede causar distintos tipos de enfermedades respiratorias al estar expuestos.

4.2. Índice de calidad de aire de material particulado PM10 ug/m³

Gráfico 4

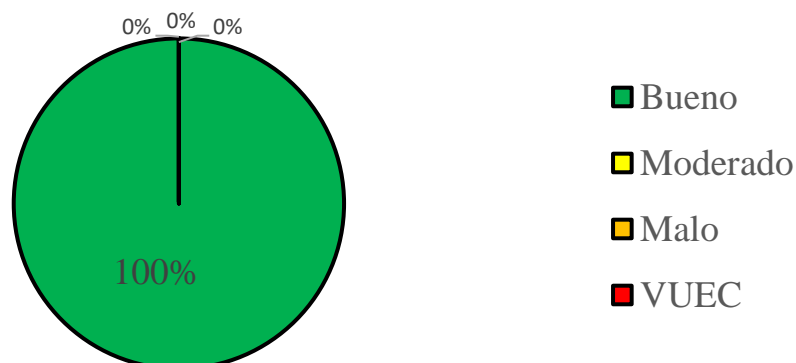
Índice de la calidad de aire de PM10 (ug/m³) turno mañana



En el gráfico 4, se muestra el índice de calidad del aire para PM10 turno mañana, donde la calidad del aire es 100% buena, lo que quiere decir que el entorno es saludable y no provocará daños en la salud de las personas al estar expuestas. Esto se debe a la presencia de lluvias las cuales mantienen húmeda la tierra que hace que se minimice la existencia de material particulado al transitar los vehículos en las vías sin pavimentar.

Gráfico 5

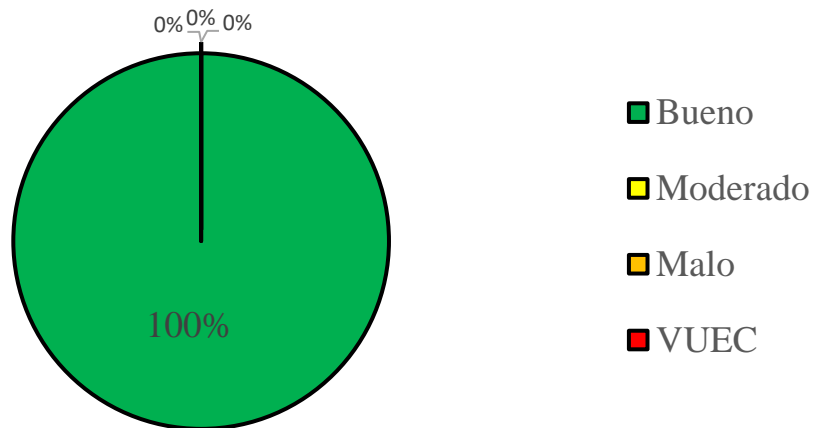
Índice de la calidad de aire de PM10 (ug/m³) turno tarde



En el grafico 5, se muestra el índice de calidad del aire para PM10 turno tarde, donde la calidad del aire es 100% bueno, lo que quiere decir que el entorno es saludable y no provocara daños en la salud de las personas al estar expuestas.

Gráfico 6

Índice de la calidad de aire de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) turno noche



En el grafico 6, se muestra el índice de calidad del aire para PM10 turno noche, donde la calidad del aire es 100% bueno, lo que quiere decir que el entorno es saludable y no provocara daños en la salud de las personas al estar expuestas. Esto se debe a la presencia de lluvias las cuales mantiene húmedo la tierra que hace que se minimice la existencia de material particulado al transitar los vehículos en las vías sin pavimentar.

4.3. Comparación de la concentración diaria de material particulado PM2,5 y PM10 (ug/m³) con los estándares de calidad del aire (ECA)

Gráfico 7

Comparación de la concentración diaria de PM2,5 (ug/m³) con el ECA

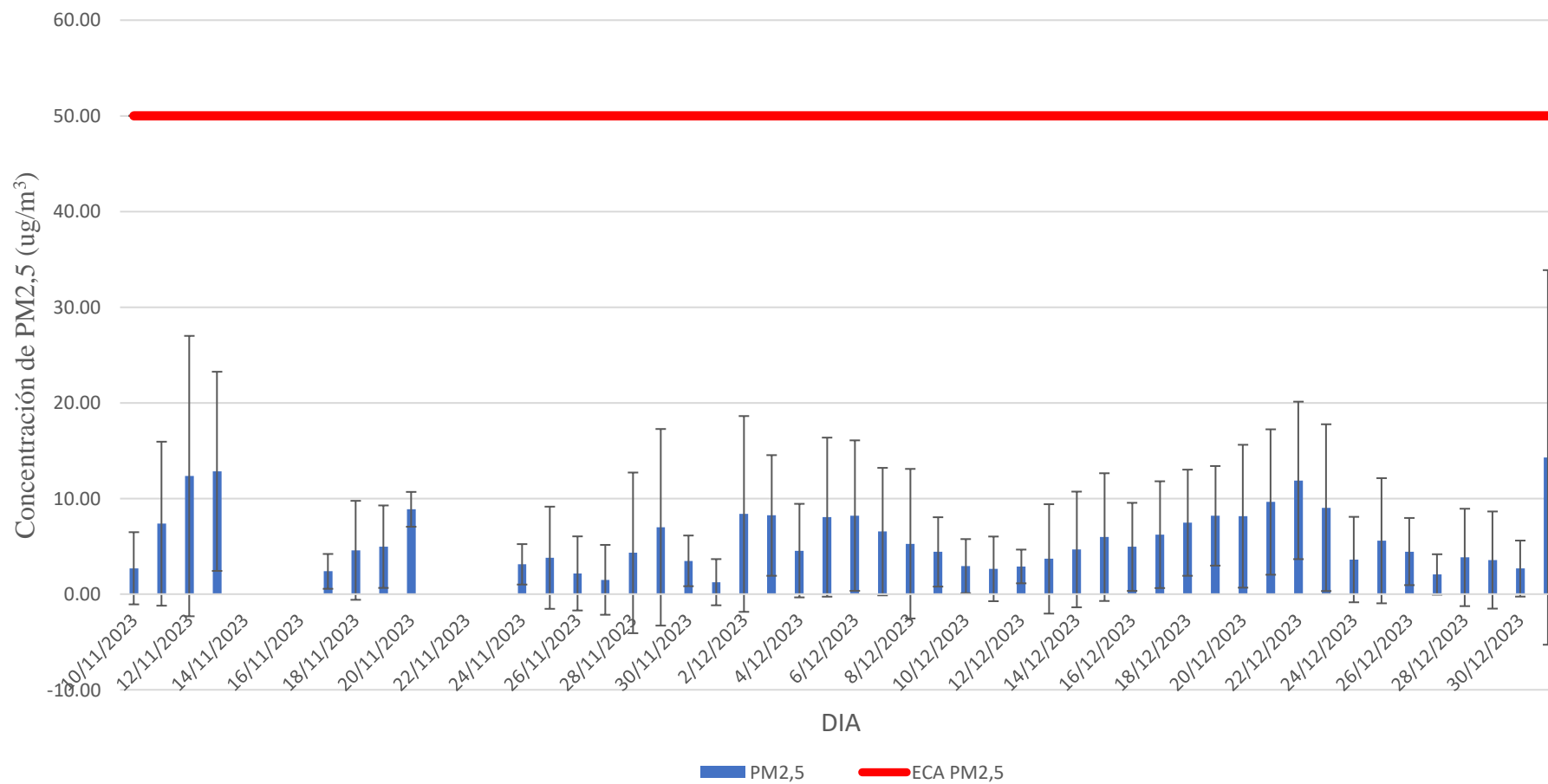
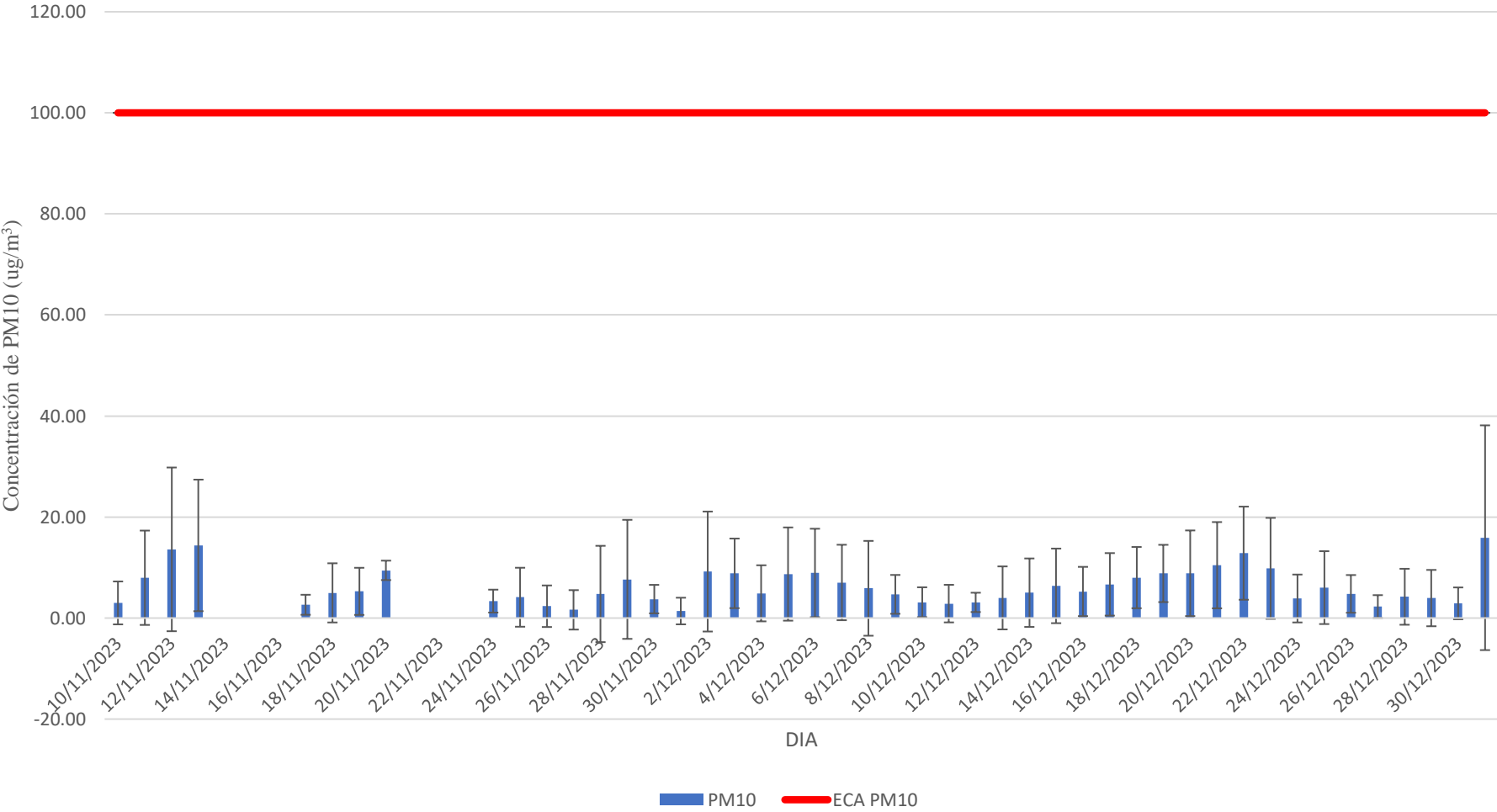


Gráfico 8

Comparación de la concentración diaria de PM10 (ug/m³) con el ECA



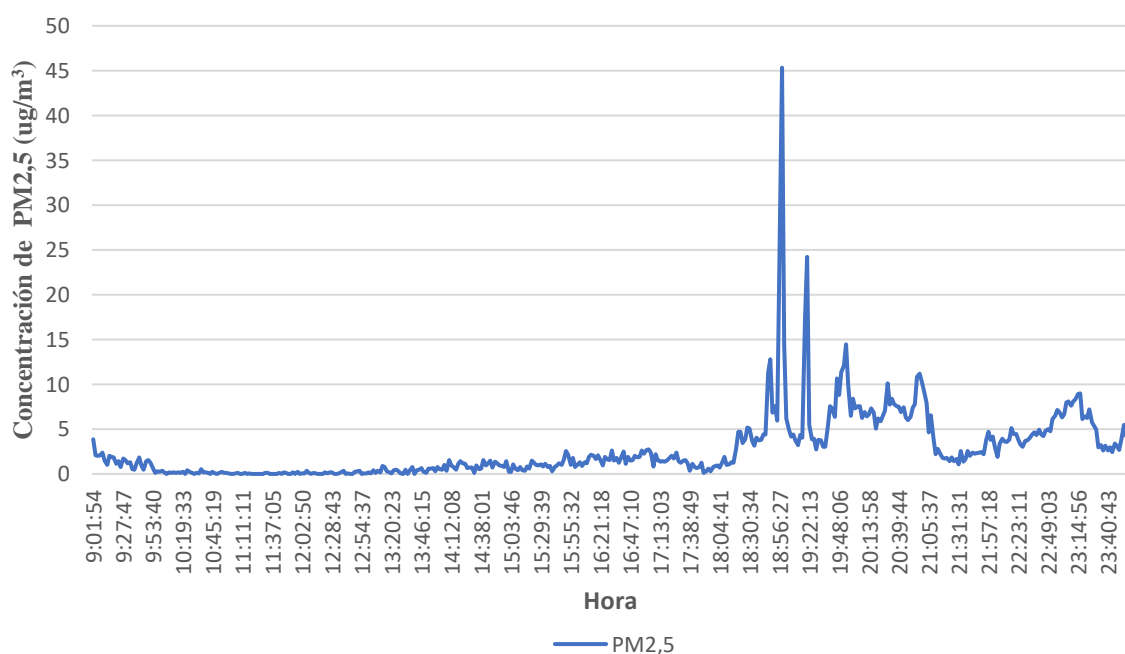
En el gráfico 7 se observa la comparación de la concentración diaria de PM_{2,5} donde la concentración mínima es 1,25 ug/m³ y la concentración máxima fue 14,29 ug/m³, misma que no sobrepasa los Estándares de Calidad del Aire donde estipula que al realizar el monitoreo por 24 horas la concentración máxima es 50 ug/m³, por ello podemos mencionar que al haberse realizado el monitoreo durante dos meses los datos obtenidos están dentro de los Estándares de Calidad del Aire y no es perjudicial para el bienestar de las personas. También se debe a la presencia de lluvias que mantienen húmedo la tierra por eso al transitar los vehículos en las carreteras sin pavimentar van generar menor concentración de material particulado.

En el gráfico 8 se observa la comparación de la concentración diaria de PM₁₀ donde la concentración mínima es 1,39 ug/m³ y la concentración máxima fue 15,90 ug/m³, misma que no sobrepasa los Estándares de Calidad del Aire donde estipula que al realizar el monitoreo por 24 horas la concentración máxima es 100 ug/m³, por ello podemos mencionar que al haberse realizado el monitoreo durante dos meses los datos obtenidos están dentro de los Estándares de Calidad del Aire y no es perjudicial para el bienestar de las personas. También se debe a la presencia de que mantienen húmedo la tierra por eso al transitar los vehículos en las carreteras sin pavimentar van generar menor concentración de material particulado.

4.4. Variación temporal de moda fina y moda gruesa (PM_{2,5} y PM₁₀)

Gráfico 9

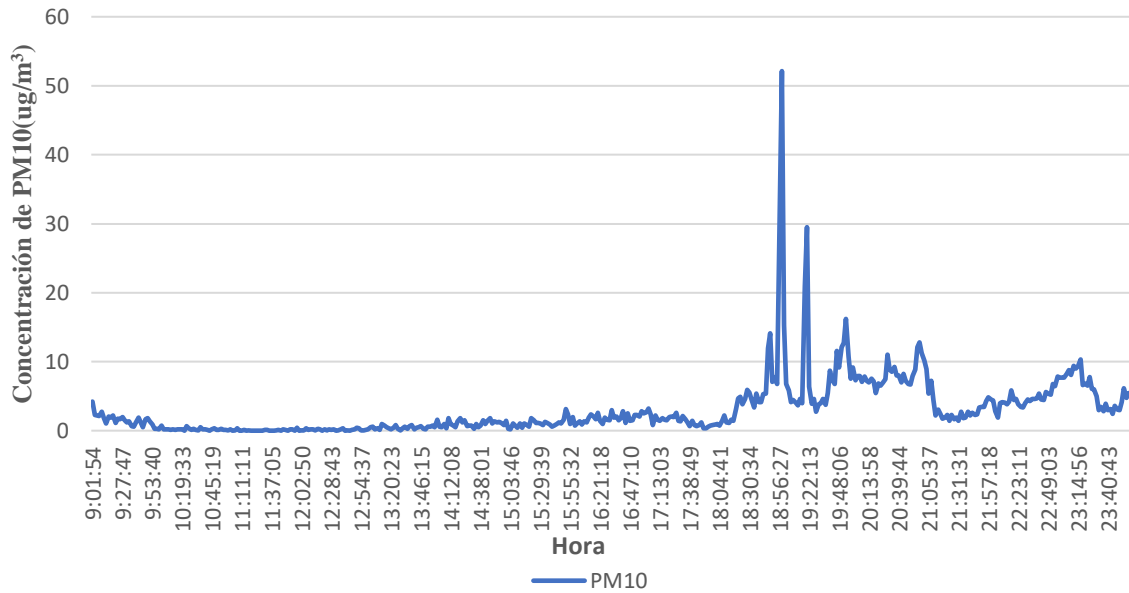
Concentración de PM_{2,5} (ug/m³) del 10 de noviembre del 2023



En el gráfico 9 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 45,33 ug/m³ el día 10 de noviembre del 2023.

Gráfico 10

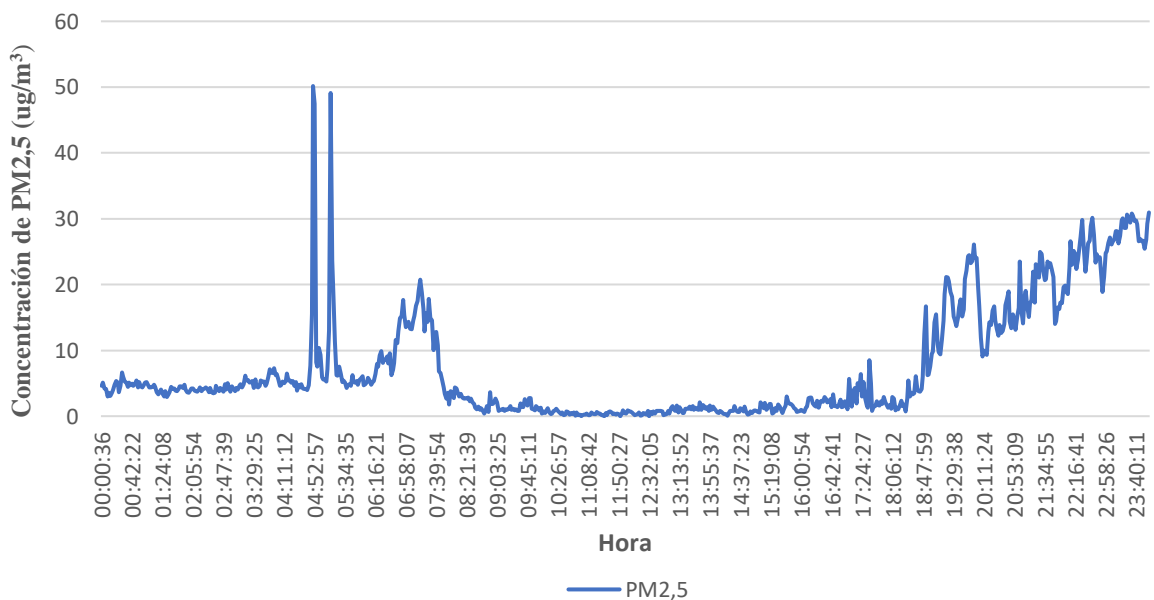
Concentración de PM10 (ug/m³) del 10 de noviembre del 2023



En el gráfico 10 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 52,12 ug/m³ el día 10 de noviembre del 2023.

Gráfico 11

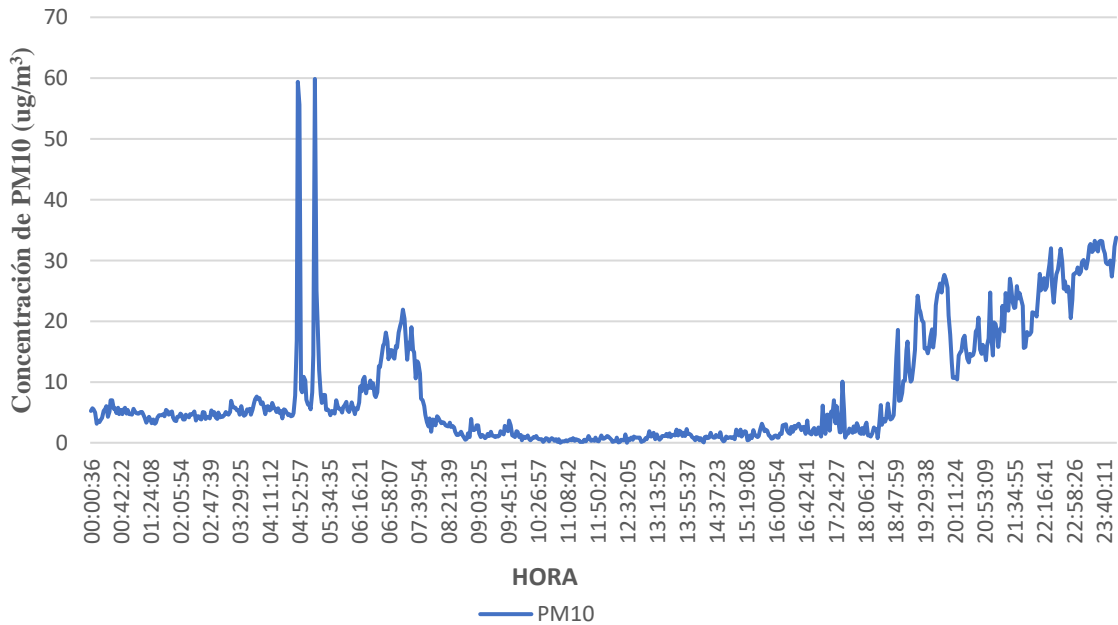
Concentración de PM2,5 (ug/m³) del 11 de noviembre del 2023



En el gráfico 11 se muestra la concentración del PM_{2,5} donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 50,17 ug/m³ el día 11 de noviembre del 2023.

Gráfico 12

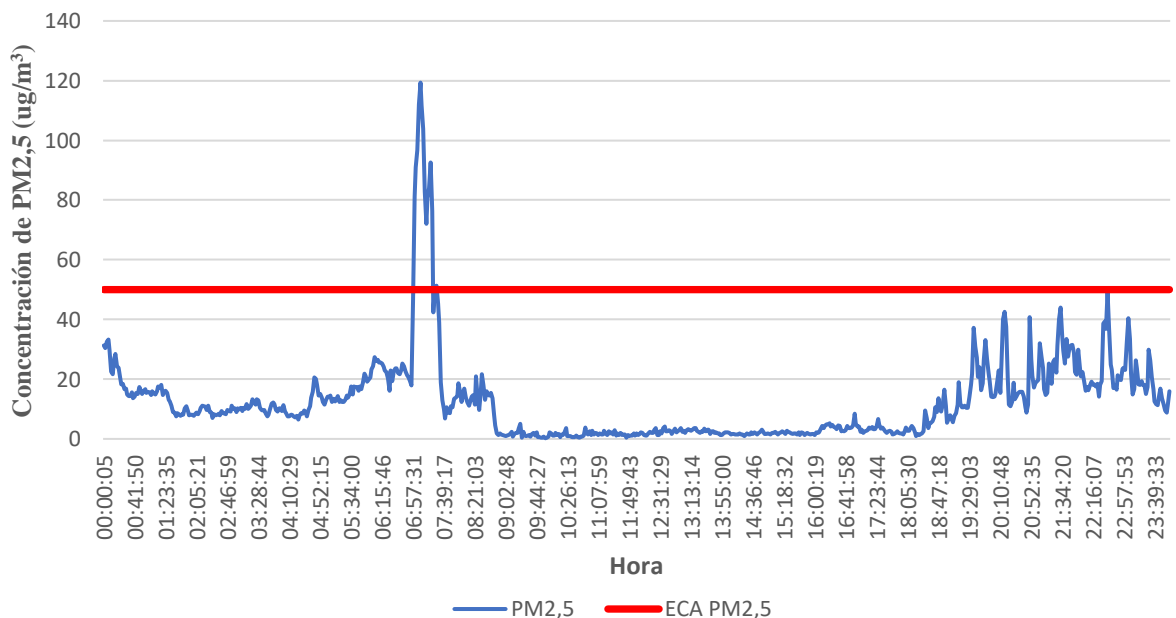
Concentración de PM₁₀ (ug/m³) del 11 de noviembre del 2023



En el gráfico 12 se muestra la concentración del PM₁₀ donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 59,86 ug/m³ el día 11 de noviembre del 2023.

Gráfico 13

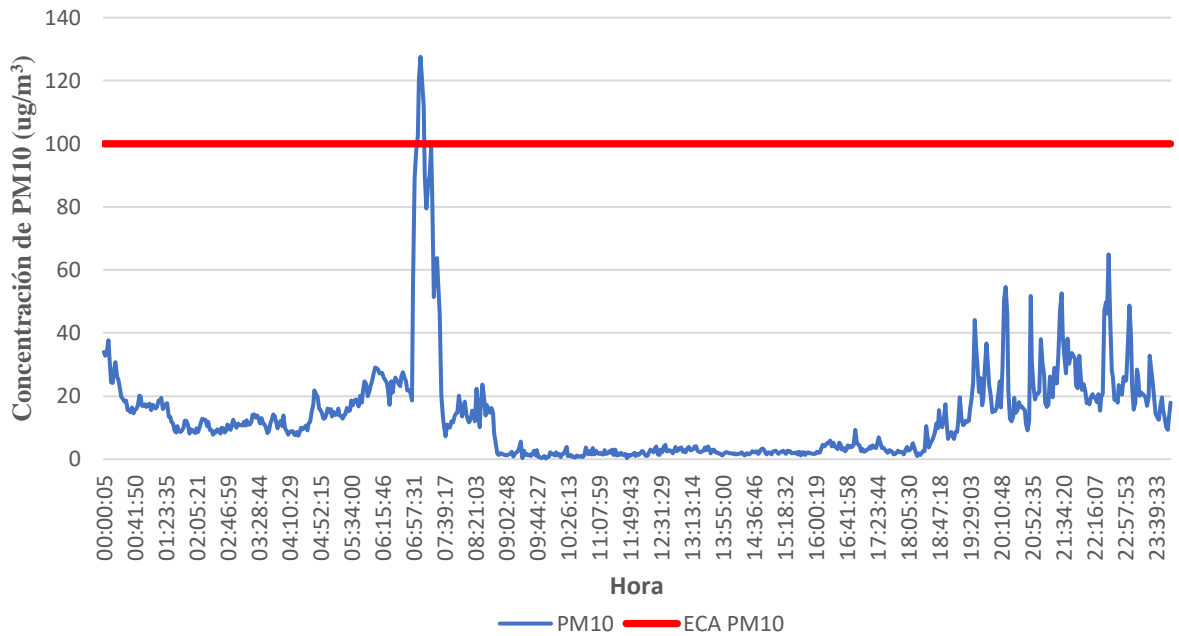
Concentración de PM_{2,5}(ug/m³) del 12 de noviembre del 2023



En el gráfico 13 se muestra la concentración del PM_{2,5} donde la concentración mínima es 0,22 ug/m³ y el máximo fue 119,34 ug/m³ el día 12 de noviembre del 2023.

Gráfico 14

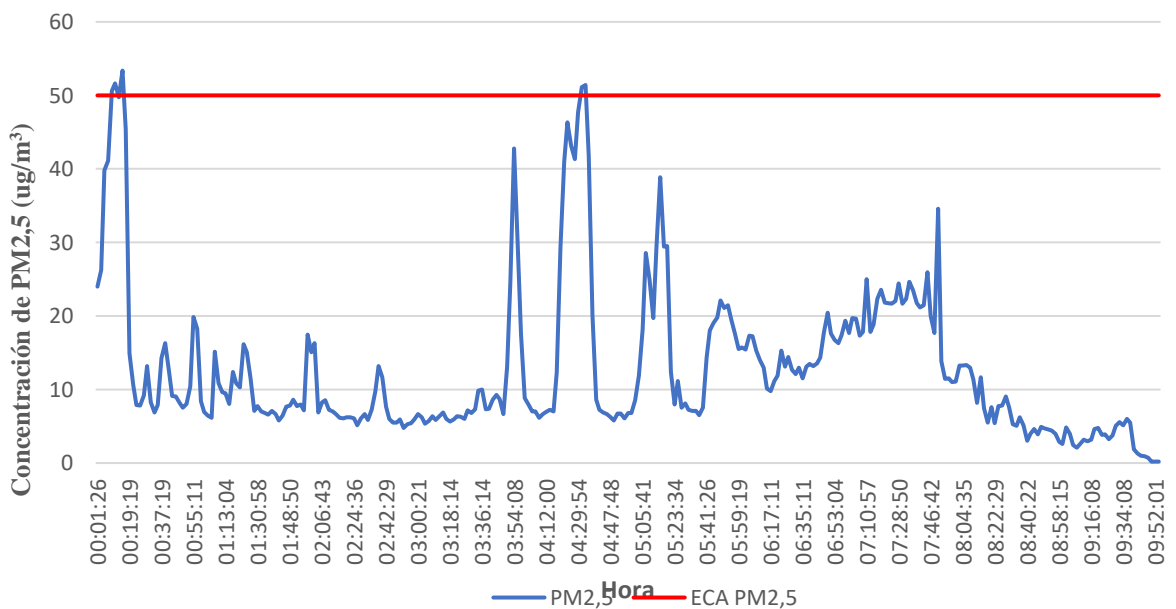
Concentración de PM₁₀(ug/m³) del 12 de noviembre del 2023



En el gráfico 14 se muestra la concentración del PM₁₀ donde la concentración mínima es 0,22 ug/m³ y el máximo fue 127,57 ug/m³ el día 12 de noviembre del 2023.

Gráfico 15

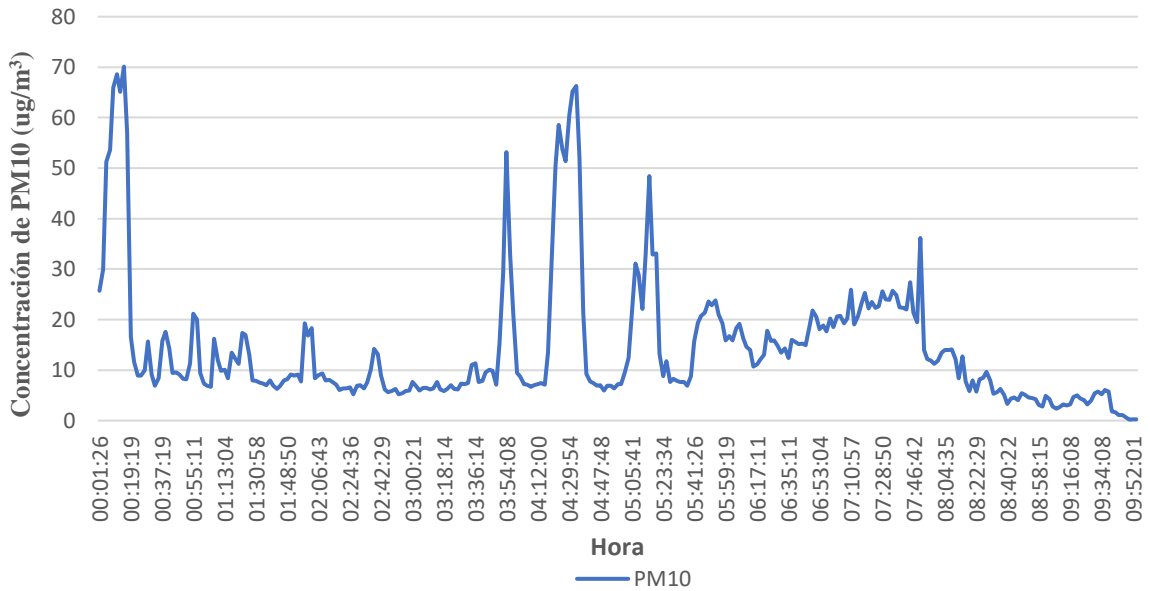
Concentración de PM_{2,5} (ug/m³) del 13 de noviembre del 2023



En el gráfico 15 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,19 ug/m³ y el máximo fue 53,38 ug/m³ el día 13 de noviembre del 2023.

Gráfico 16

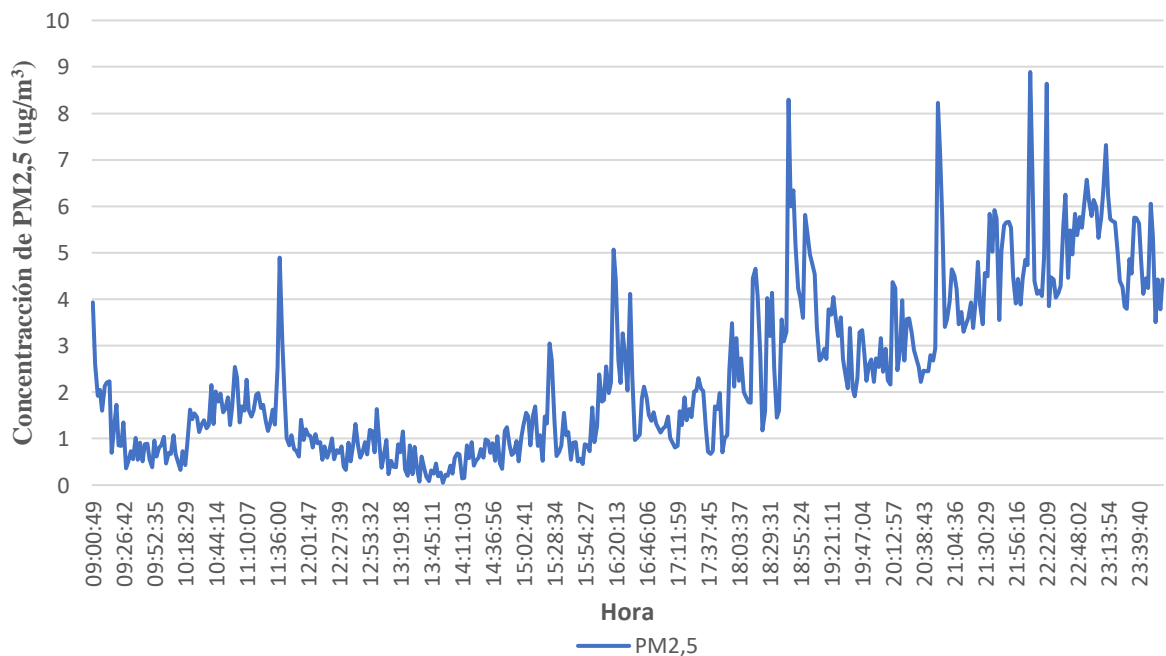
Concentración de PM10(ug/m³) del 13 de noviembre del 2023



En el gráfico 16 se muestra la concentración del PM10, donde la concentración mínima es 0,19 ug/m³ y el máximo fue 70,11 ug/m³ el día 13 de noviembre del 2023.

Gráfico 17

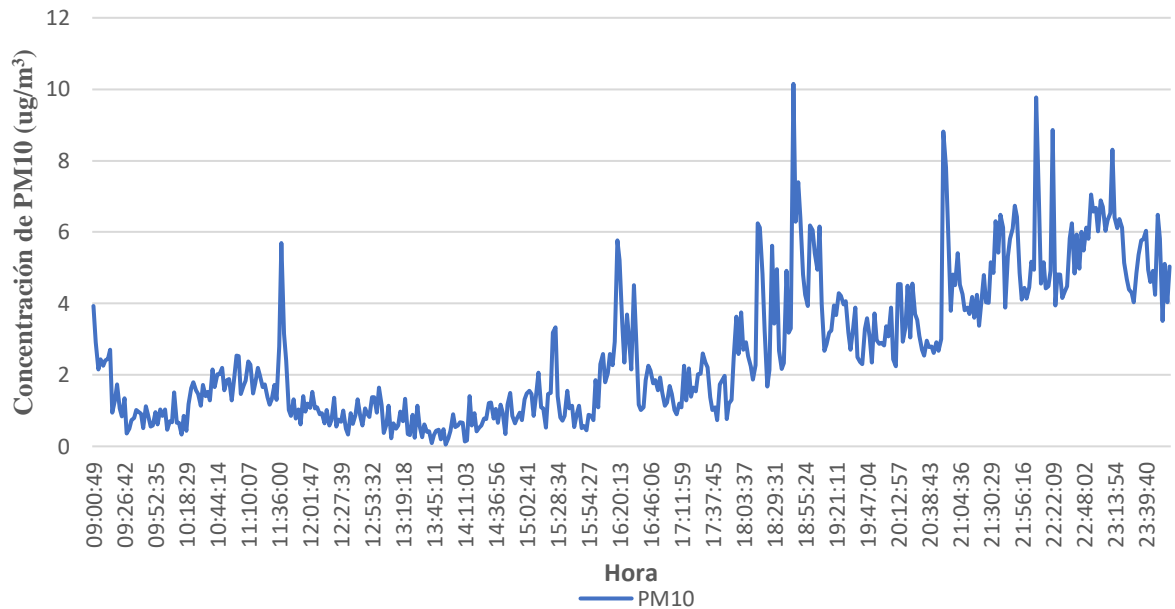
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 17 de noviembre del 2023



En el gráfico 17 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,05 ug/m³ y el máximo fue 8,89 ug/m³ el día 17 de noviembre del 2023.

Gráfico 18

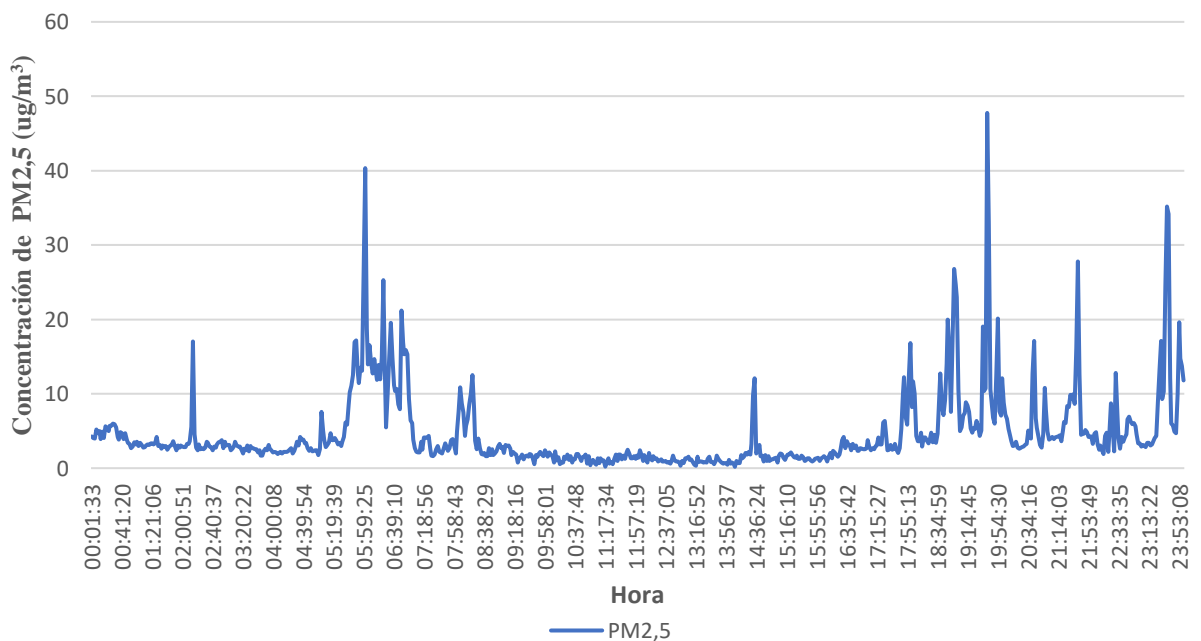
Concentración de PM10(ug/m³) del 17 de noviembre del 2023



En el gráfico 18 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,05 ug/m³ y el máximo fue 10,15 ug/m³ el día 17 de noviembre del 2023.

Gráfico 19

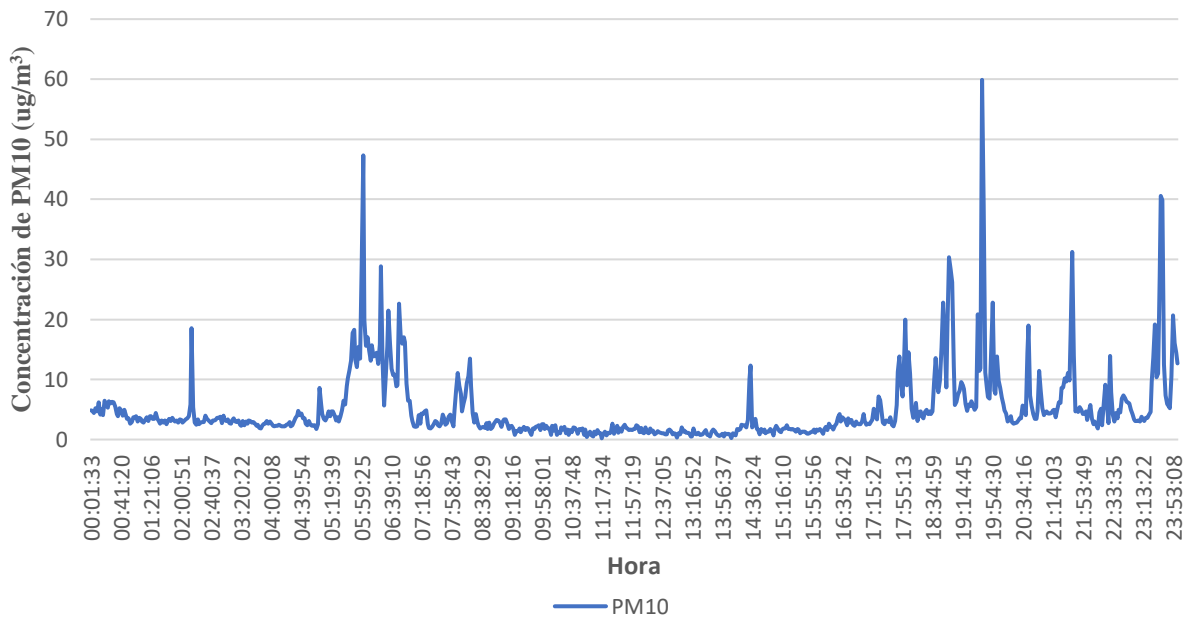
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 18 de noviembre del 2023



En el gráfico 19 se muestra la concentración del PM_{2,5} donde la concentración mínima es 0,2 ug/m³ y el máximo fue 47,76 ug/m³ el día 18 de noviembre del 2023.

Gráfico 20

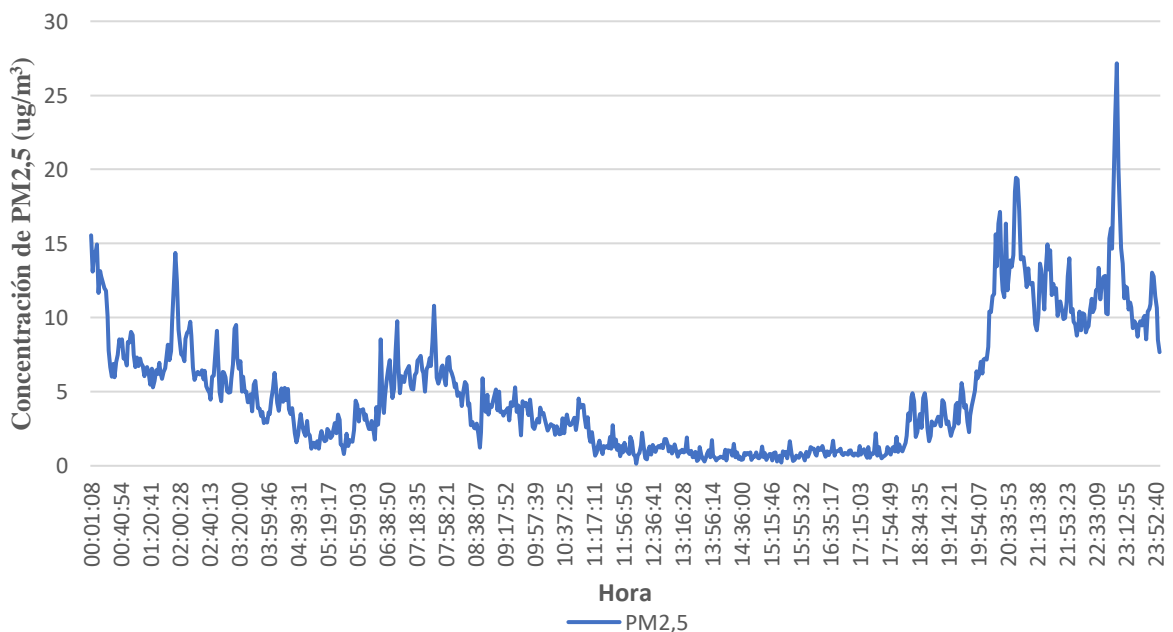
Concentración de PM₁₀(ug/m³) del 18 de noviembre del 2023



En el gráfico 20 se muestra la concentración del PM₁₀ donde la concentración mínima es 0,2 ug/m³ y el máximo fue 59,89 ug/m³ el día 18 de noviembre del 2023.

Gráfico 21

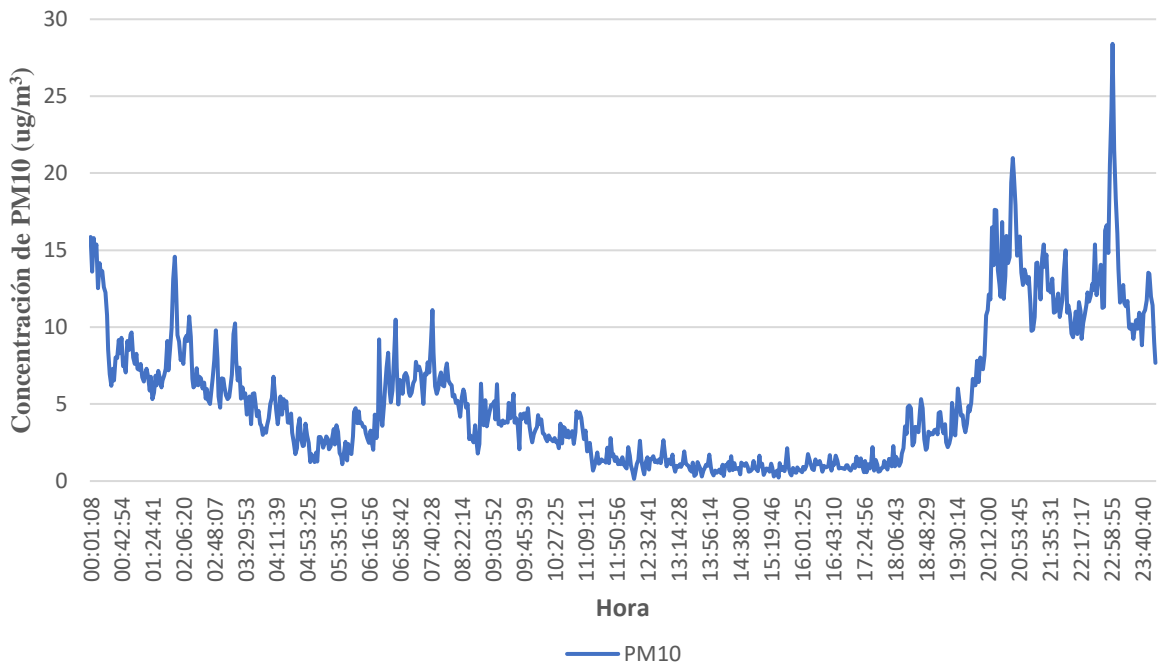
Concentración de PM_{2,5} (ug/m³) del 19 de noviembre del 2023



En el gráfico 21 se muestra la concentración del PM_{2,5} donde la concentración mínima es 0,14 ug/m³ y el máximo fue 27,16 ug/m³ el día 19 de noviembre del 2023.

Gráfico 22

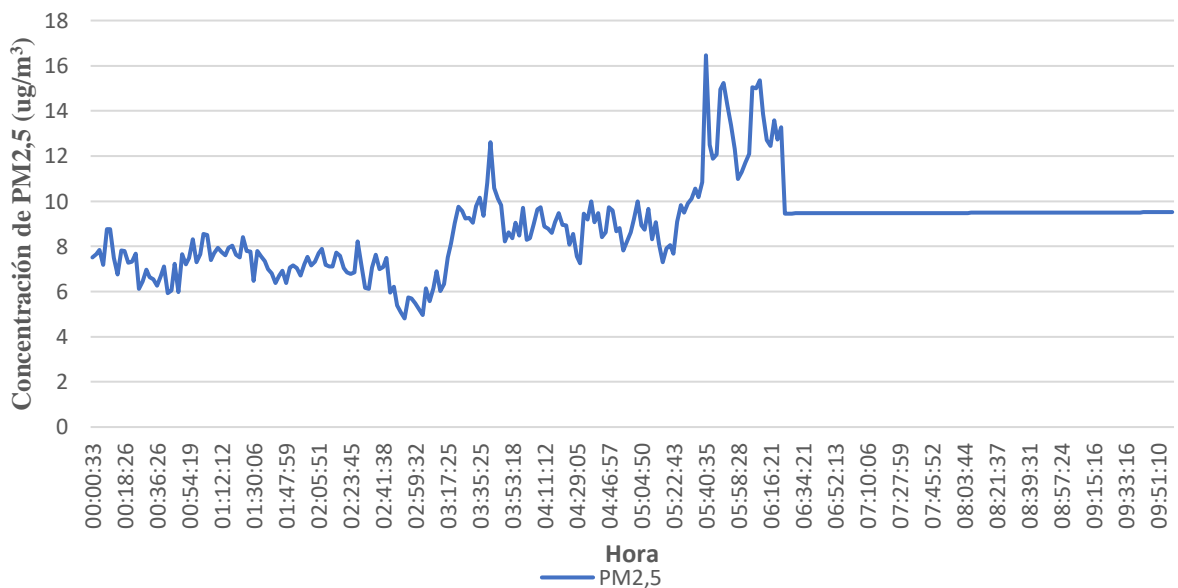
Concentración de PM₁₀(ug/m³) del 19 de noviembre del 2023



En el gráfico 22 se muestra la concentración del PM₁₀ donde la concentración mínima es 0,14 ug/m³ y el máximo fue 28,4 ug/m³ el día 19 de noviembre del 2023.

Gráfico 23

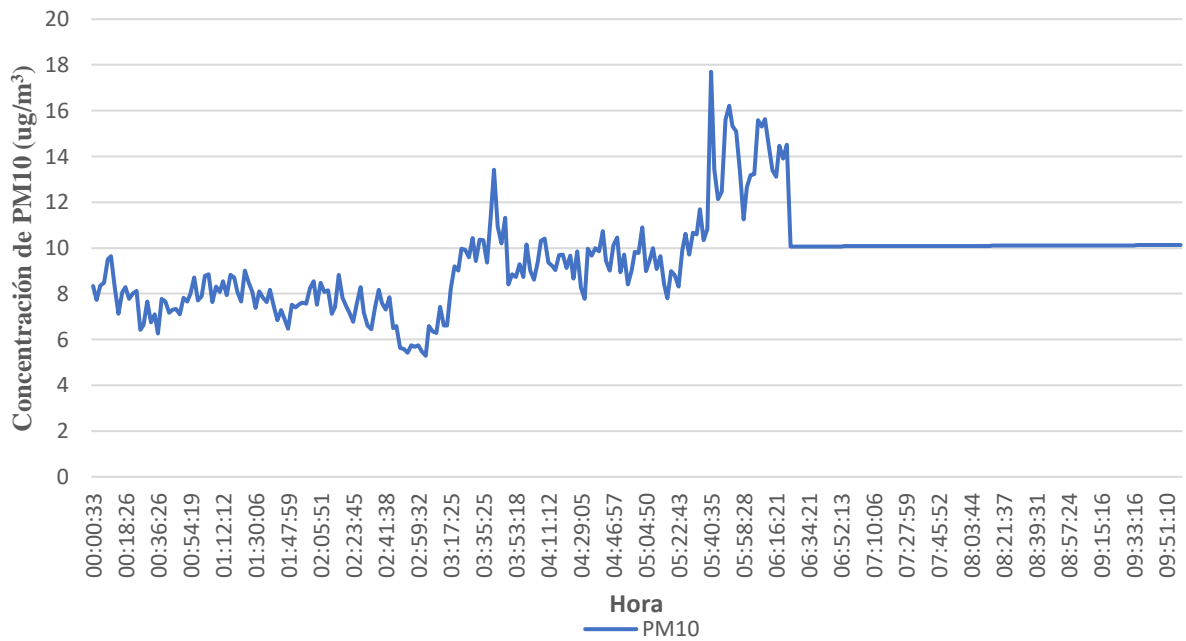
Concentración de PM_{2,5} (ug/m³) del 20 de noviembre del 2023



En el gráfico 23 se muestra la concentración del PM_{2,5} donde la concentración mínima es 4,81 ug/m³ y el máximo fue 16,46 ug/m³ el día 20 de noviembre del 2023.

Gráfico 24

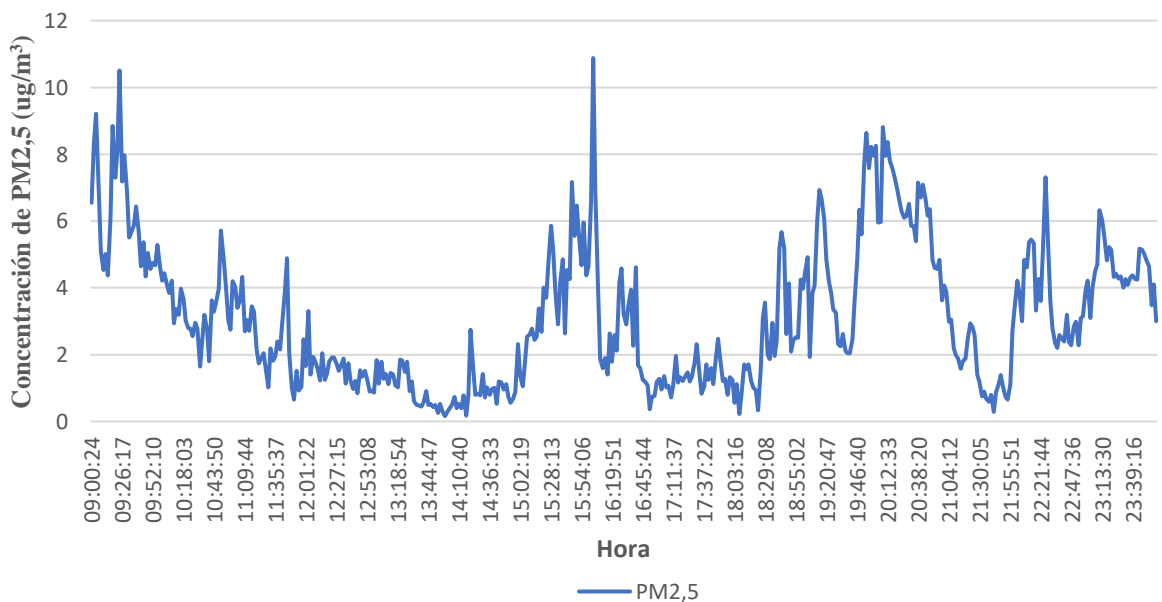
Concentración de PM₁₀(ug/m³) del 20 de noviembre del 2023



En el gráfico 24 se muestra la concentración del PM₁₀ donde la concentración mínima es 5,29 ug/m³ y el máximo fue 17,7 ug/m³ el día 20 de noviembre del 2023.

Gráfico 25

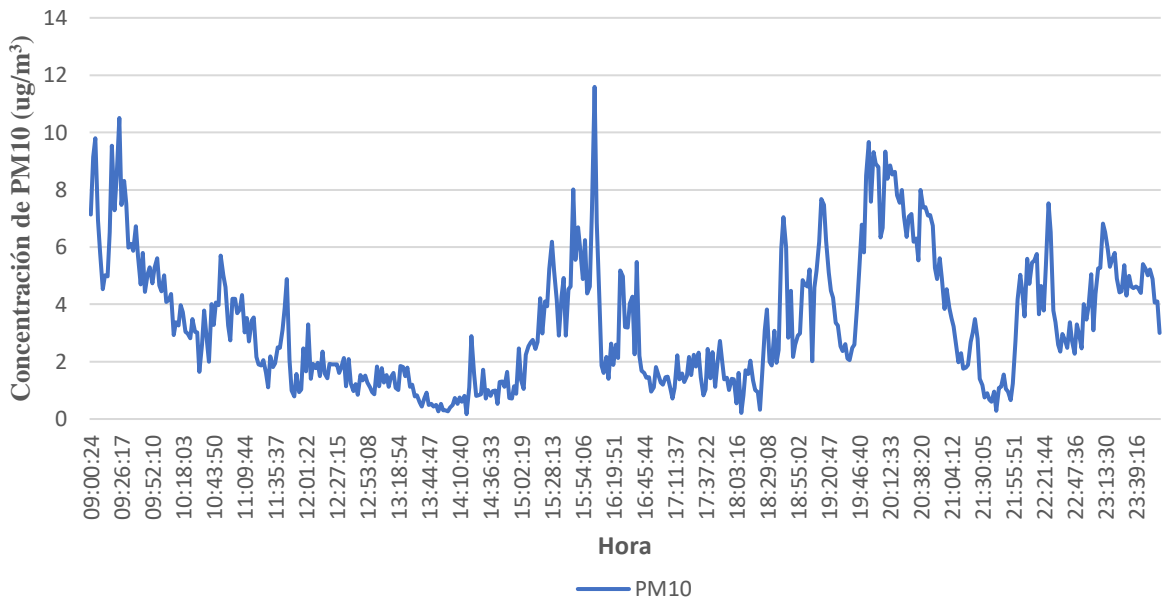
Concentración de PM_{2,5}(ug/m³) del 24 de noviembre del 2023



En el gráfico 25 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,16 ug/m³ y el máximo fue 10,88 ug/m³ el día 24 de noviembre del 2023.

Gráfico 26

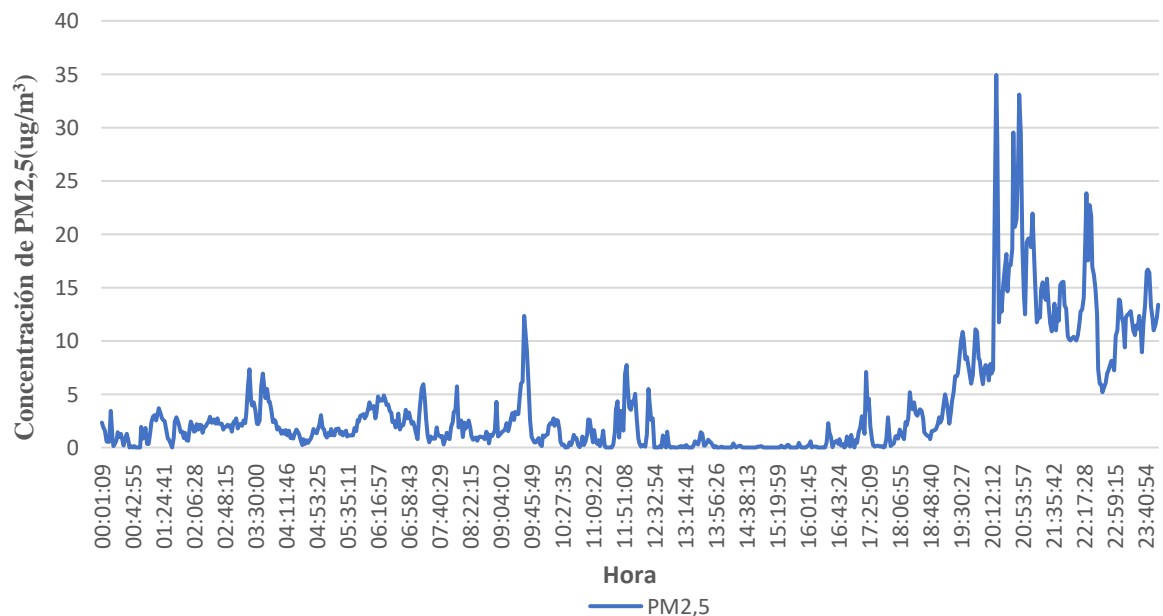
Concentración de PM10(ug/m³) del 24 de noviembre del 2023



En el gráfico 26 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,17 ug/m³ y el máximo fue 11,59 ug/m³ el día 24 de noviembre del 2023.

Gráfico 27

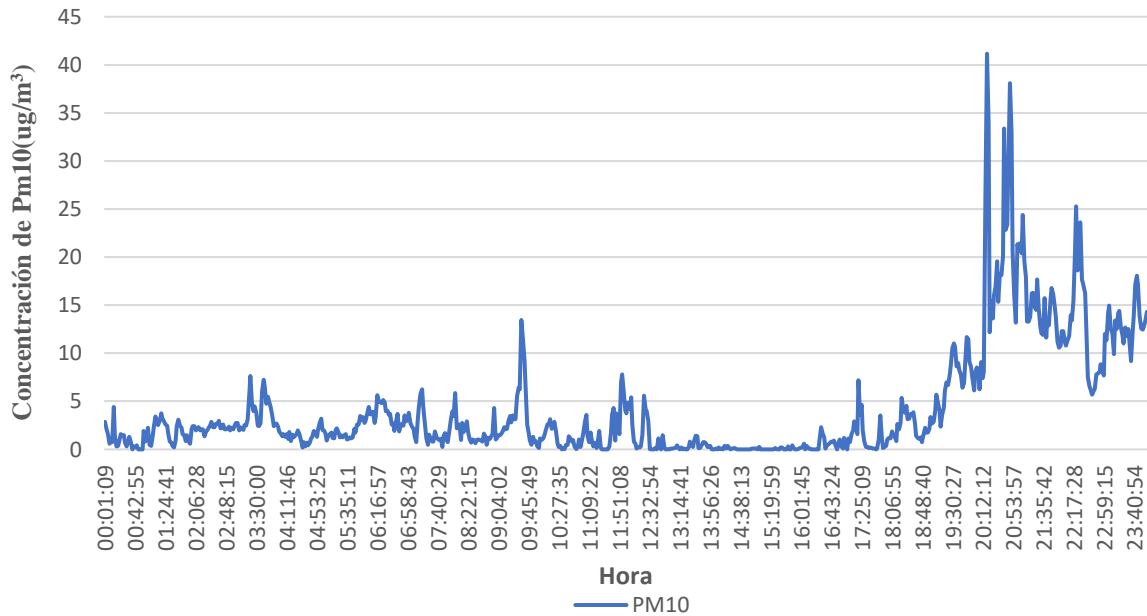
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 25 de noviembre del 2023



En el gráfico 27 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 34,93 ug/m³ el día 25 de noviembre del 2023.

Gráfico 28

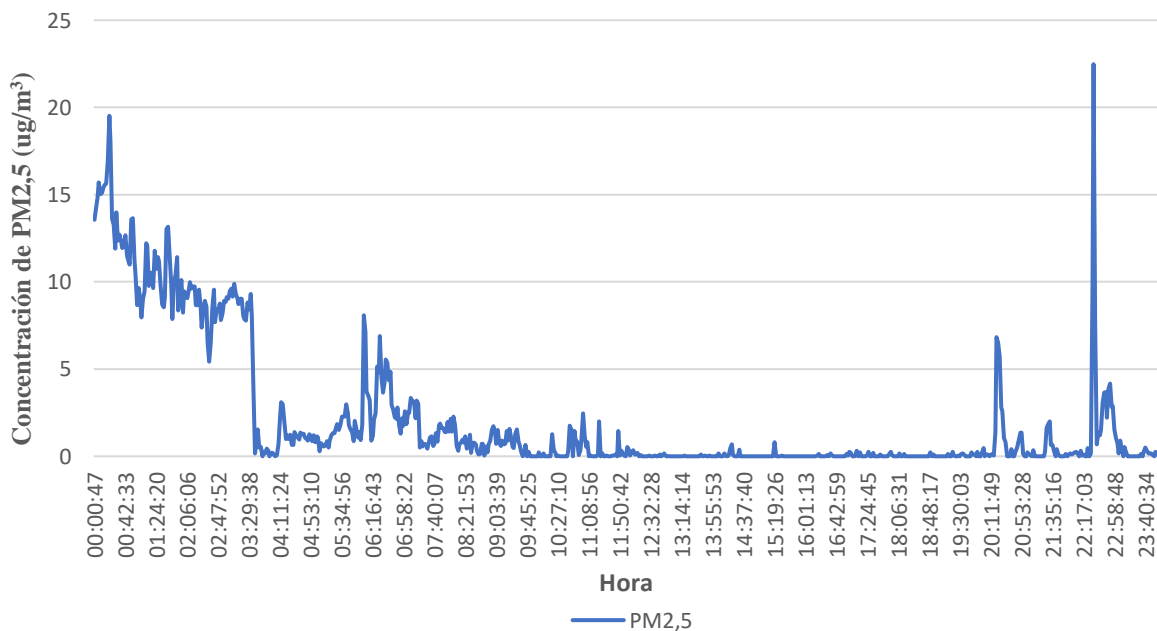
Concentración de PM10(ug/m³) del 25 de noviembre del 2023



En el gráfico 28 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 41,16 ug/m³ el día 25 de noviembre del 2023.

Gráfico 29

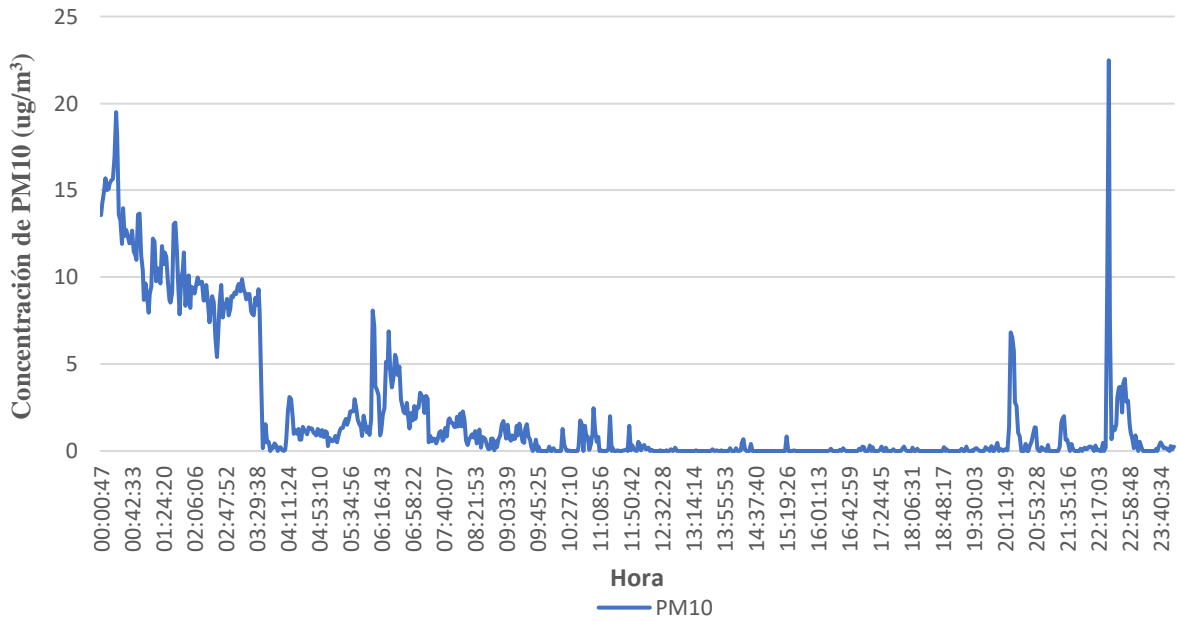
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 26 de noviembre del 2023



En el gráfico 29 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 22.48 ug/m³ el día 26 de noviembre del 2023.

Gráfico 30

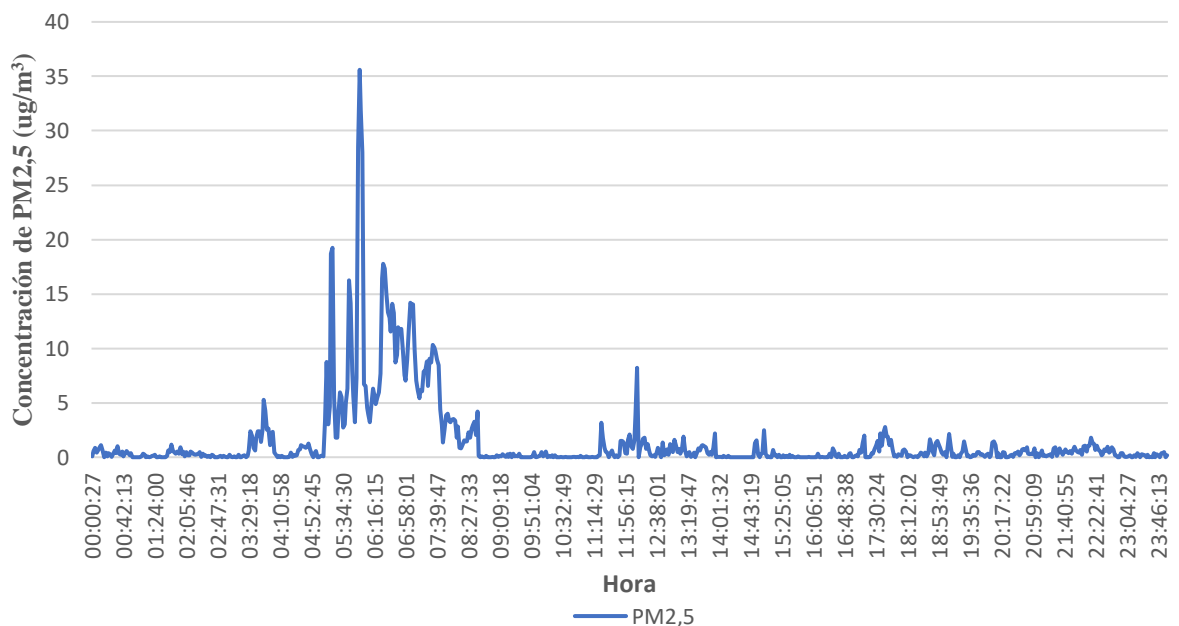
Concentración de PM10 (ug/m³) del 26 de noviembre del 2023



En el gráfico 30, se muestra la concentración del PM10, donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 24,81 ug/m³ el día 26 de noviembre del 2023.

Gráfico 31

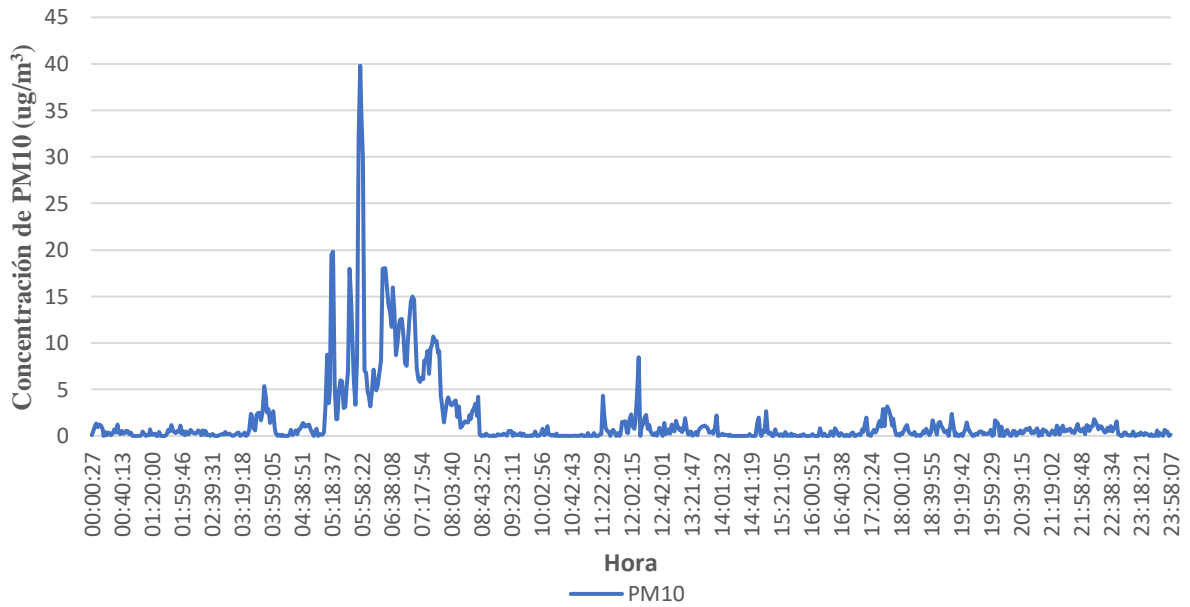
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 27 de noviembre del 2023



En el gráfico 31 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 35,6 ug/m³ el día 27 de noviembre del 2023.

Gráfico 32

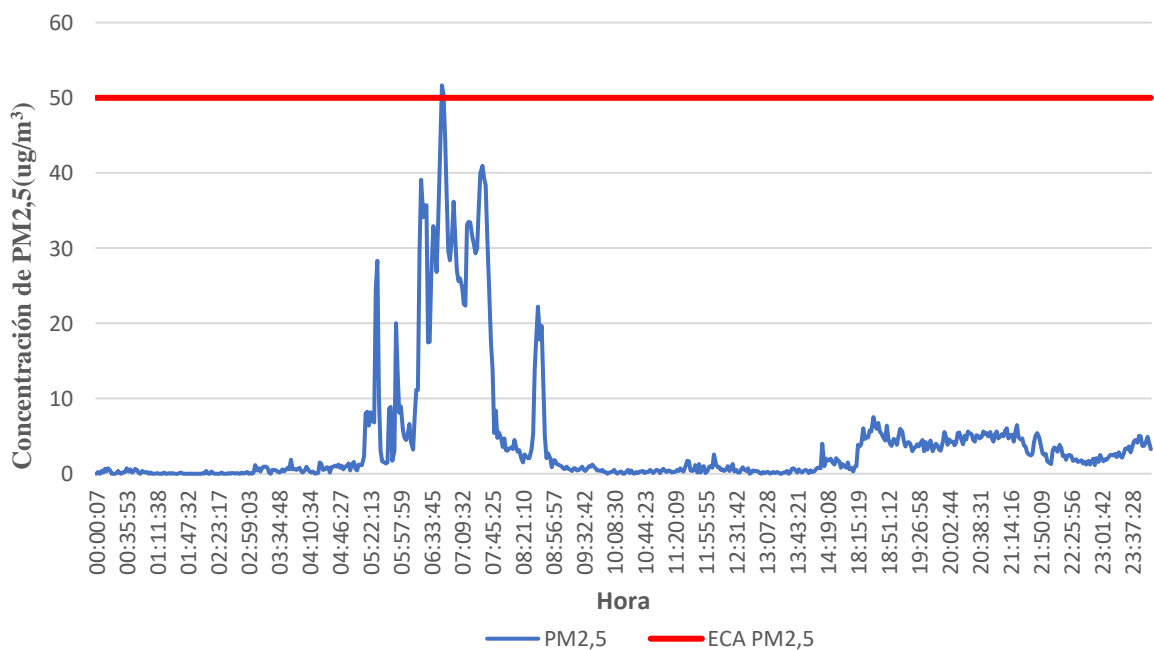
Concentración de PM10(ug/m³) del 27 de noviembre del 2023



En el gráfico 32 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 39,81 ug/m³ el día 27 de noviembre del 2023.

Gráfico 33

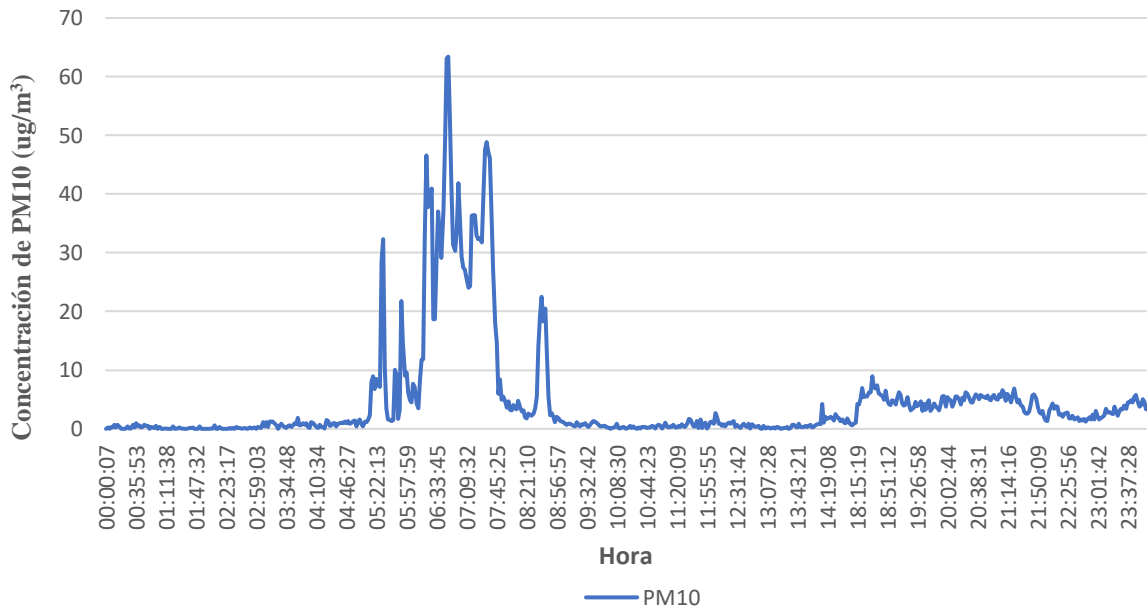
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 28 de noviembre del 2023



En el gráfico 33 se muestra la concentración del PM_{2,5} donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 51,65 ug/m³ el día 28 de noviembre del 2023.

Gráfico 34

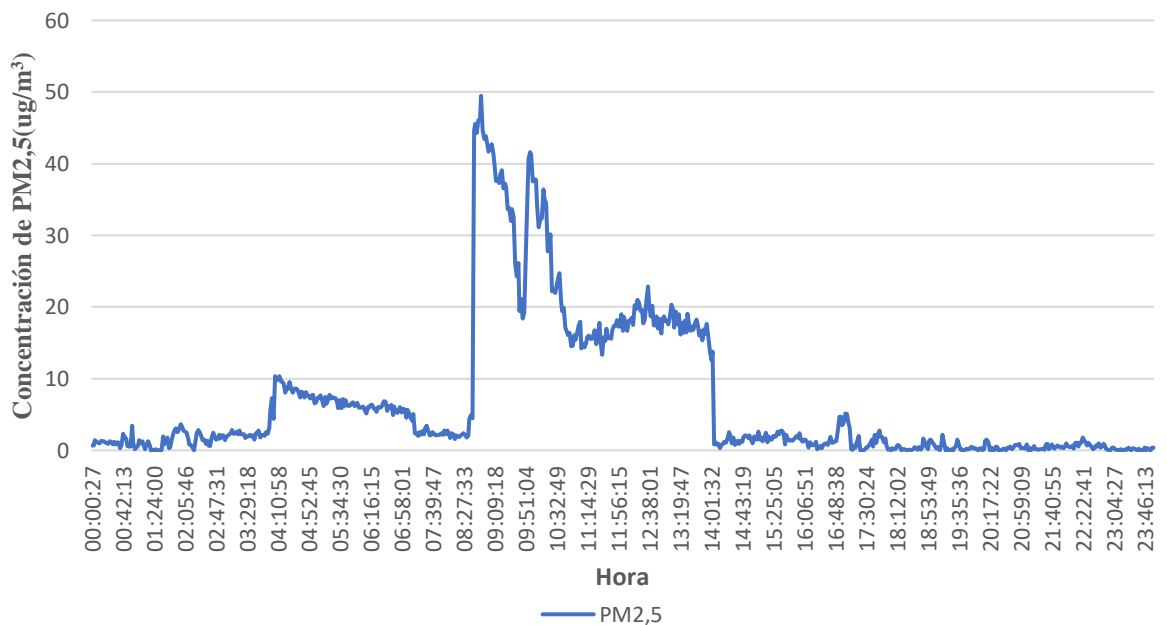
Concentración de PM₁₀(ug/m³) del 28 de noviembre del 2023



En el gráfico 34 se muestra la concentración del PM₁₀ donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 63,41 ug/m³ el día 28 de noviembre del 2023.

Gráfico 35

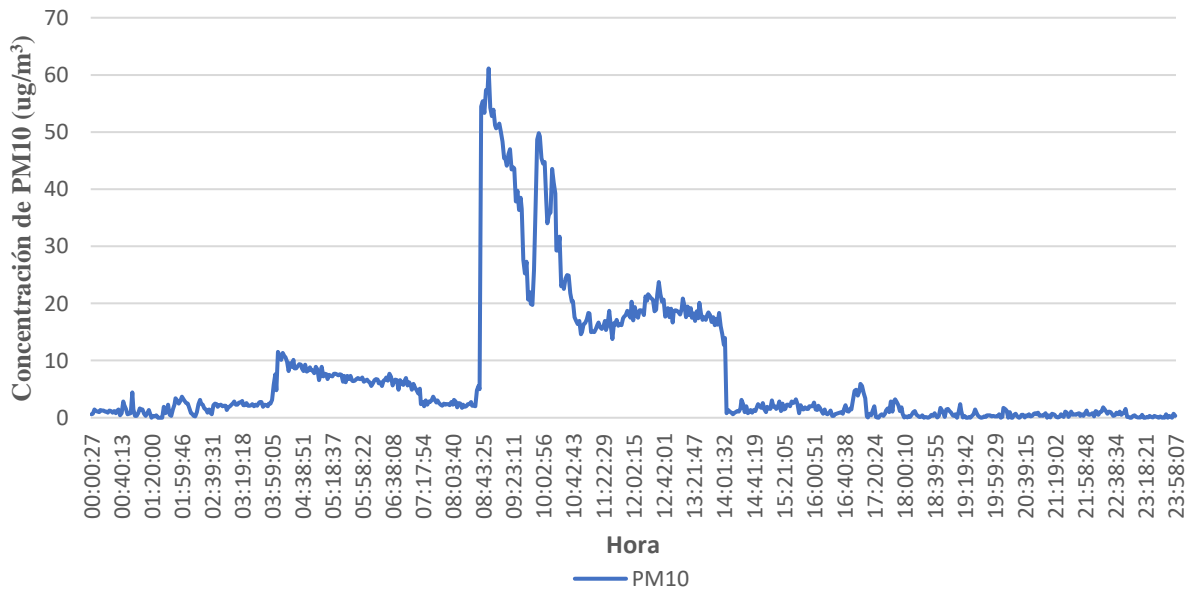
Concentración de PM_{2,5}(ug/m³) del 29 de noviembre del 2023



En el gráfico 35 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 49,47 ug/m³ el día 29 de noviembre del 2023.

Gráfico 36

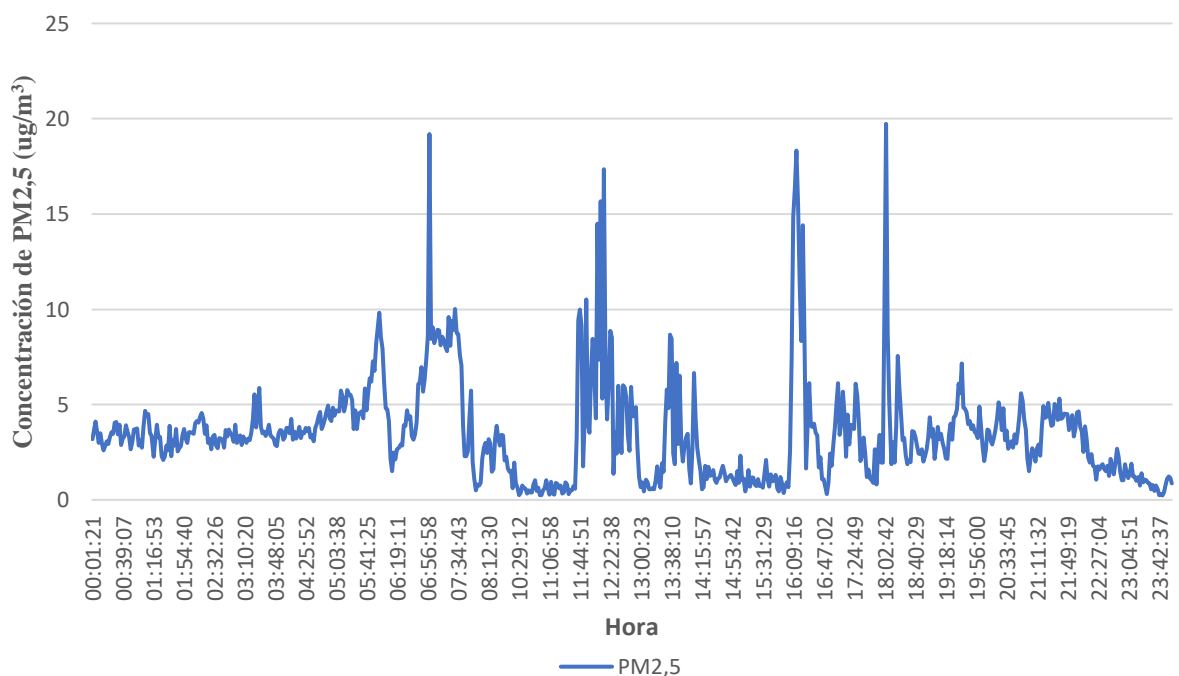
Concentración de PM10(ug/m³) del 29 de noviembre del 2023



En el gráfico 36 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 61,13 ug/m³ el día 29 de noviembre del 2023.

Gráfico 37

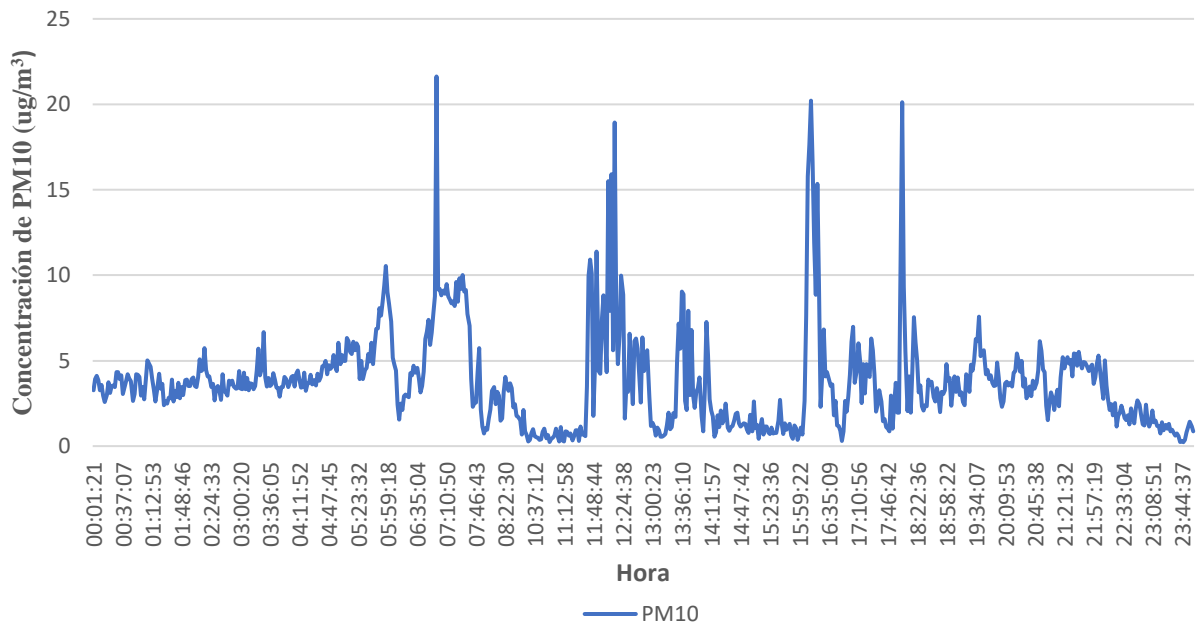
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 30 de noviembre del 2023



En el gráfico 37 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,23 ug/m³ y el máximo fue 19,73 ug/m³ el día 30 de noviembre del 2023.

Gráfico 38

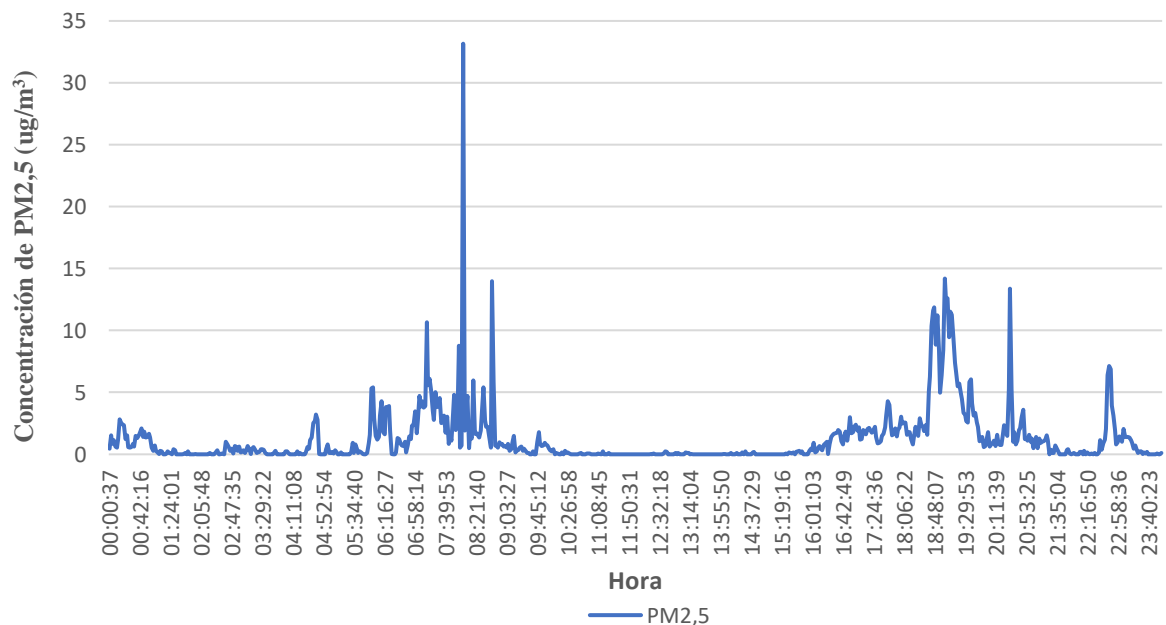
Concentración de PM10(ug/m³) del 30 de noviembre del 2023



En el gráfico 38 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,23 ug/m³ y el máximo fue 21,63 ug/m³ el día 30 de noviembre del 2023.

Gráfico 39

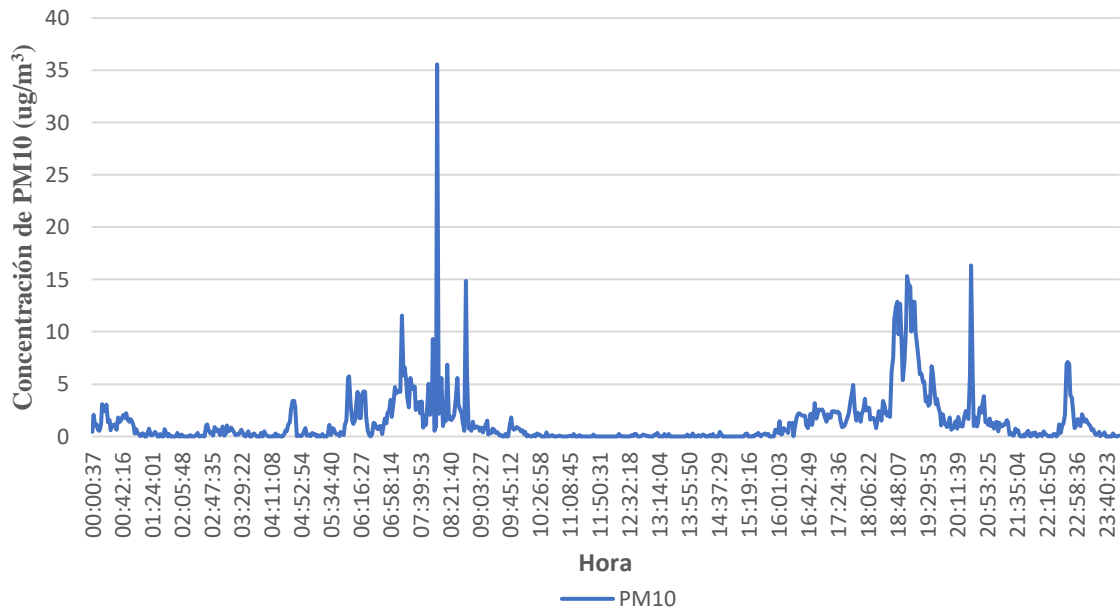
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 01 de diciembre del 2023



En el gráfico 39 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 33,16 ug/m³ el día 01 de diciembre del 2023.

Gráfico 40

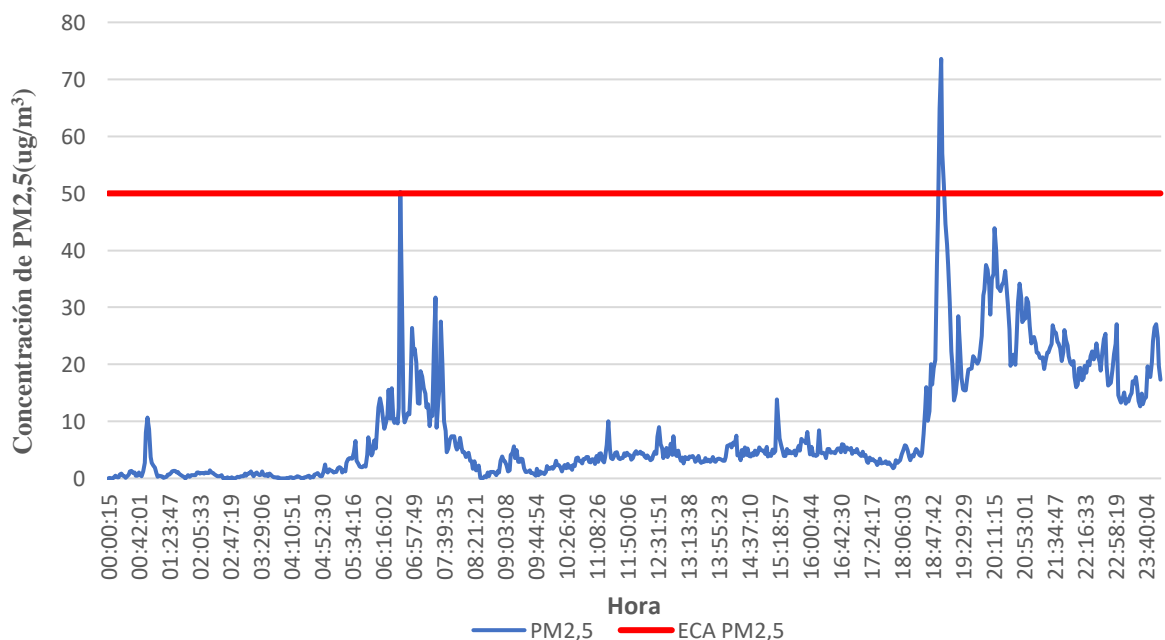
Concentración de PM10 (ug/m³) del 01 de diciembre del 2023



En el gráfico 40 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 35,57 ug/m³ el día 01 de diciembre del 2023.

Gráfico 41

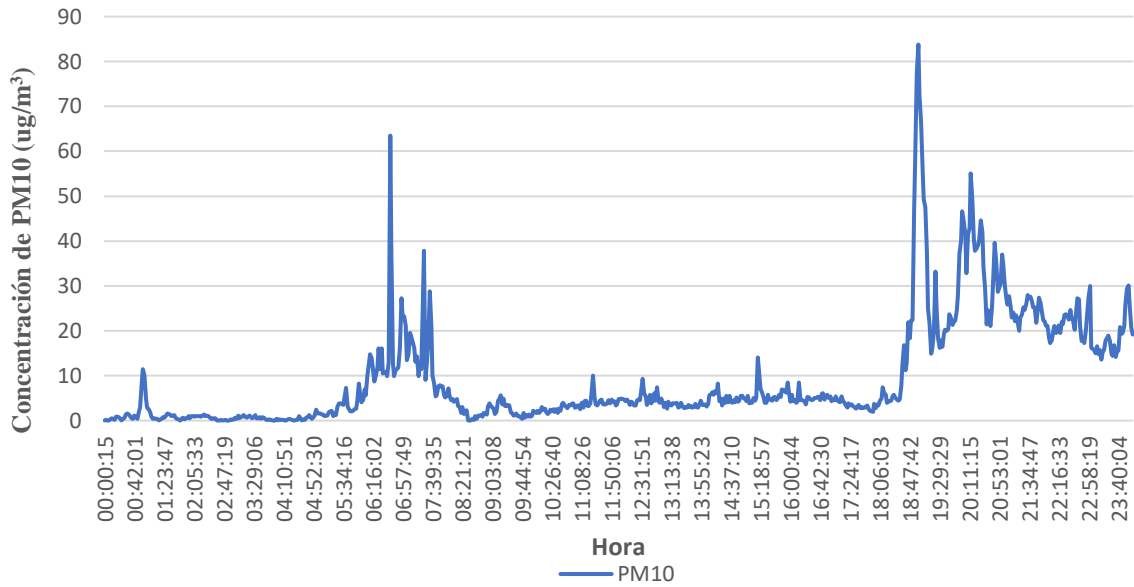
Concentración de PM2,5 (ug/m³) del 02 de diciembre del 2023



En el gráfico 41 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 73,59 ug/m³ el día 02 de diciembre del 2023.

Gráfico 42

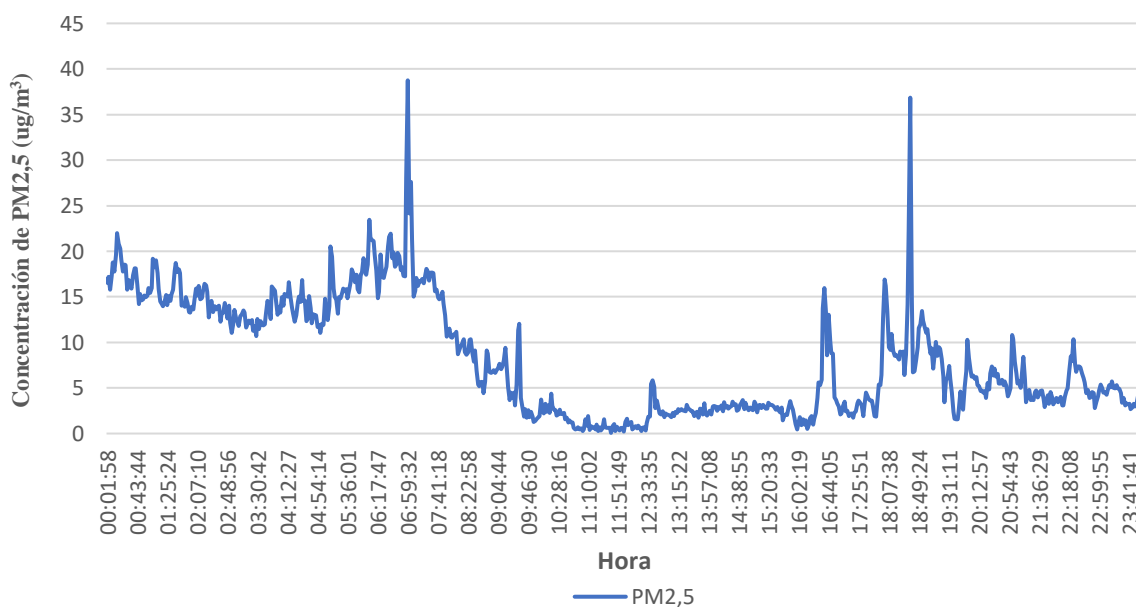
Concentración de PM10 (ug/m³) del 02 de diciembre del 2023



En el gráfico 42 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 83,77 ug/m³ el día 02 de diciembre del 2023.

Gráfico 43

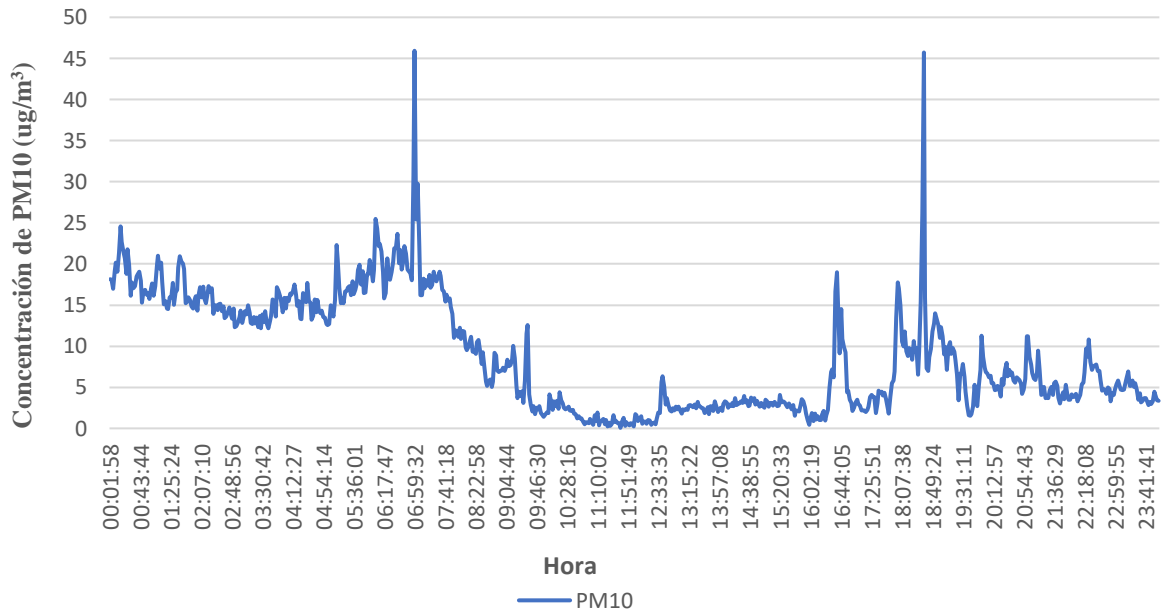
Concentración de PM2,5 (ug/m³) del 03 de diciembre del 2023



En el gráfico 43 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,07 ug/m³ y el máximo fue 38,75 ug/m³ el día 03 de diciembre del 2023.

Gráfico 44

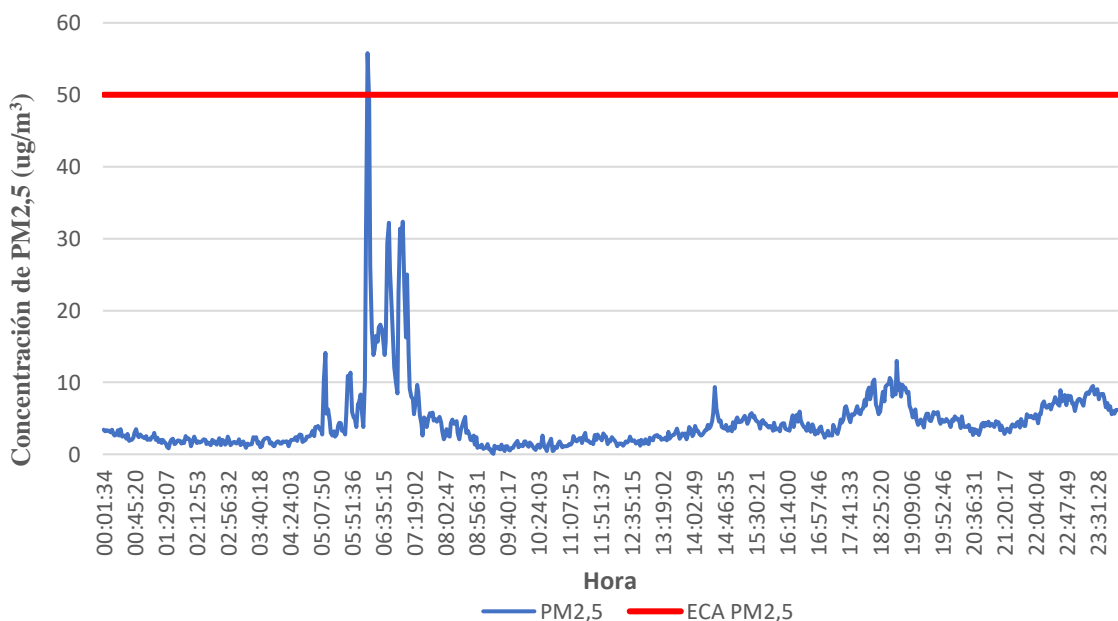
Concentración de PM10(ug/m³) del 03 de diciembre del 2023



En el gráfico 44 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,07 ug/m³ y el máximo fue 45,93 ug/m³ el día 03 de diciembre del 2023.

Gráfico 45

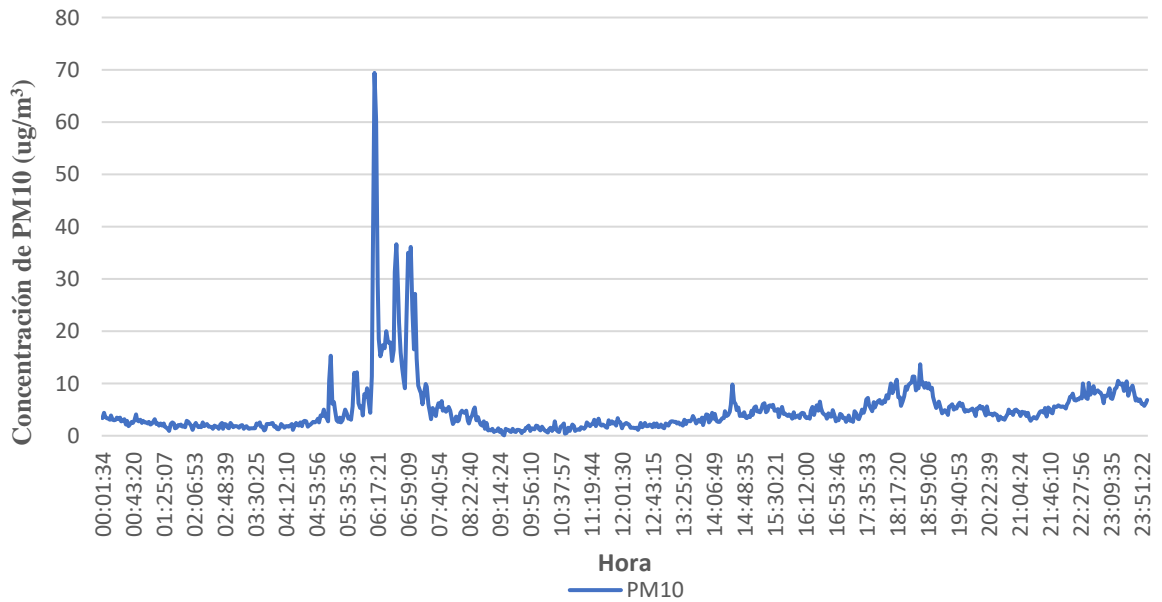
Concentración de PM2,5 (ug/m³) del 04 de diciembre del 2023



En el gráfico 45 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,07 ug/m³ y el máximo fue 55,79 ug/m³ el día 04 de diciembre del 2023.

Gráfico 46

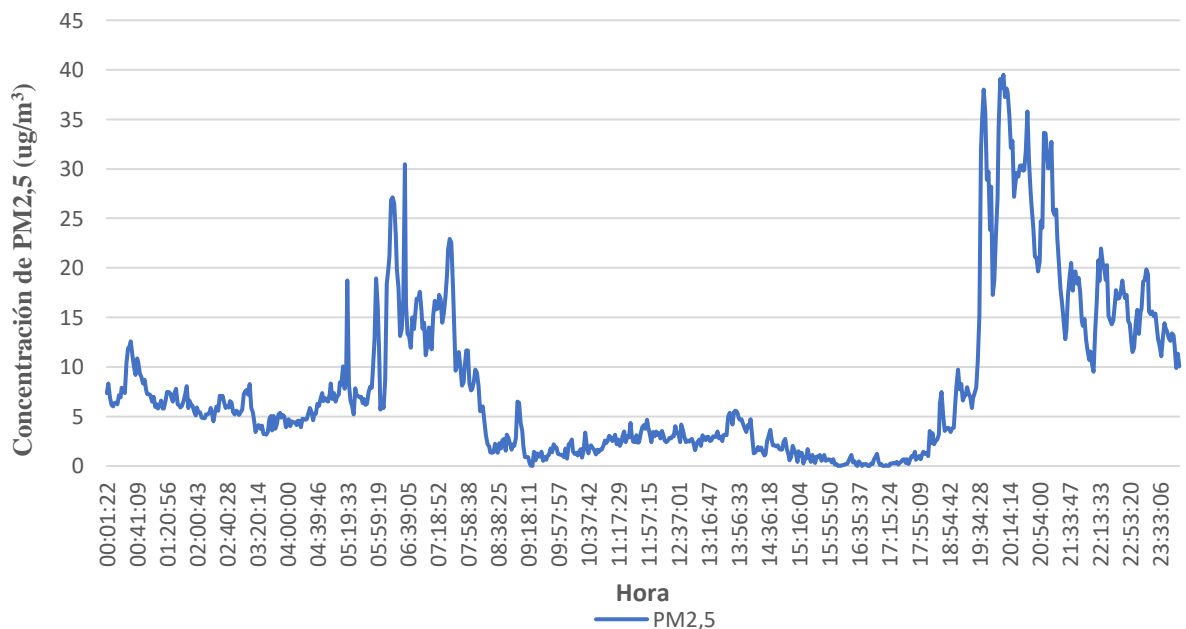
Concentración de PM10(ug/m³) del 04 de diciembre del 2023



En el gráfico 46 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,07 ug/m³ y el máximo fue 69,4 ug/m³ el día 04 de diciembre del 2023.

Gráfico 47

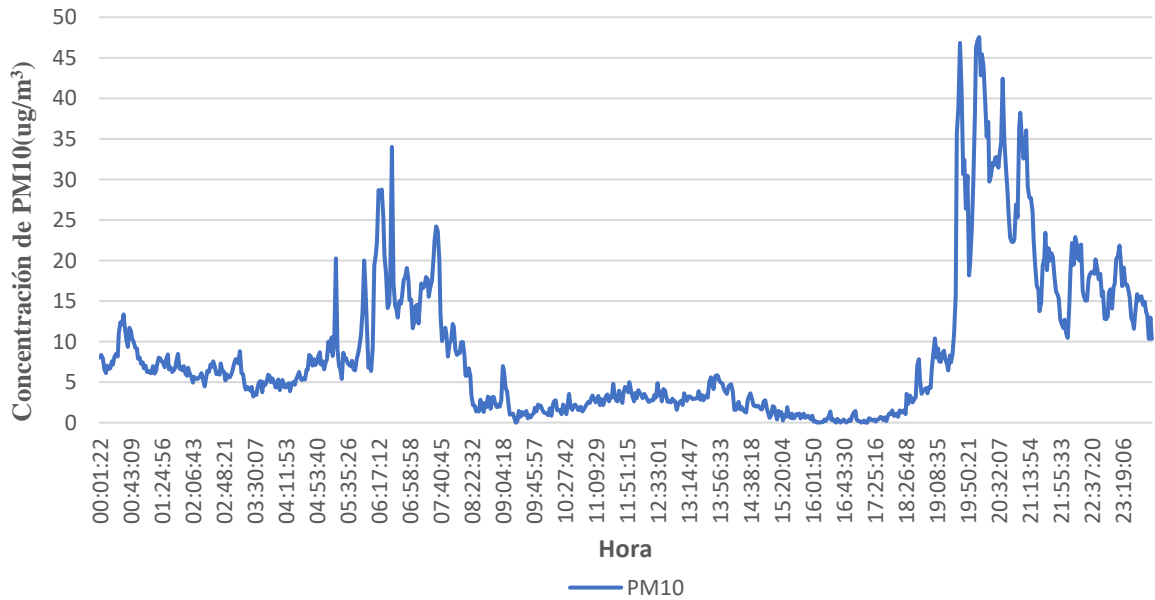
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 05 de diciembre del 2023



En el gráfico 47 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 39,5 ug/m³ el día 05 de diciembre del 2023.

Gráfico 48

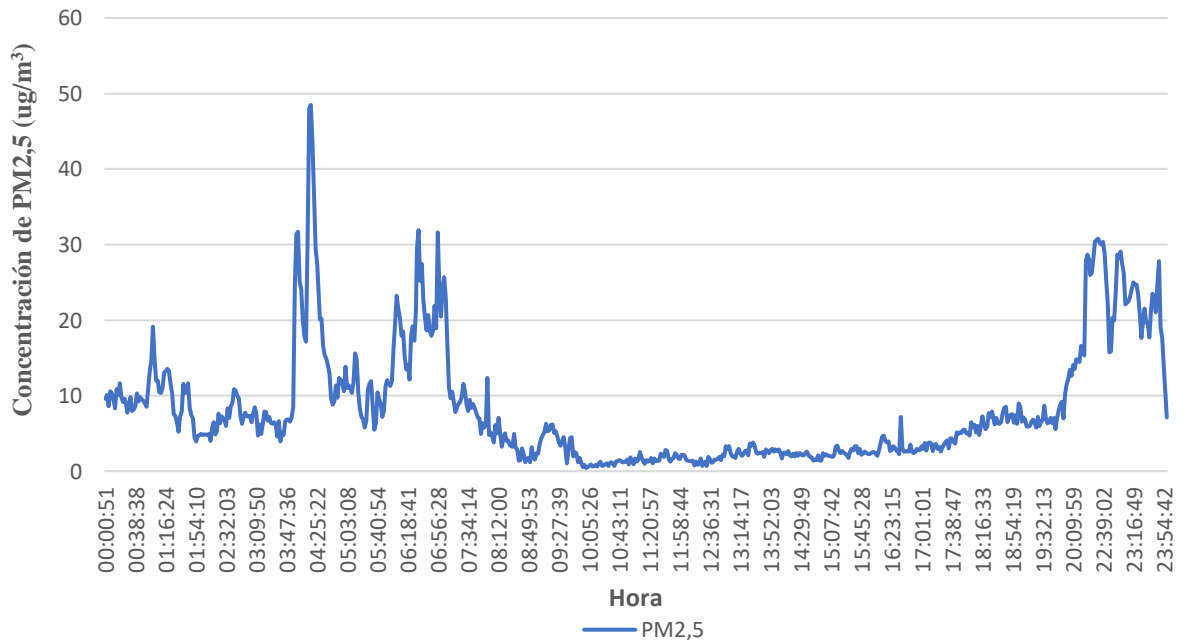
Concentración de PM10 (ug/m³) del 05 de diciembre del 2023



En el gráfico 48 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 47,55 ug/m³ el día 05 de diciembre del 2023.

Gráfico 49

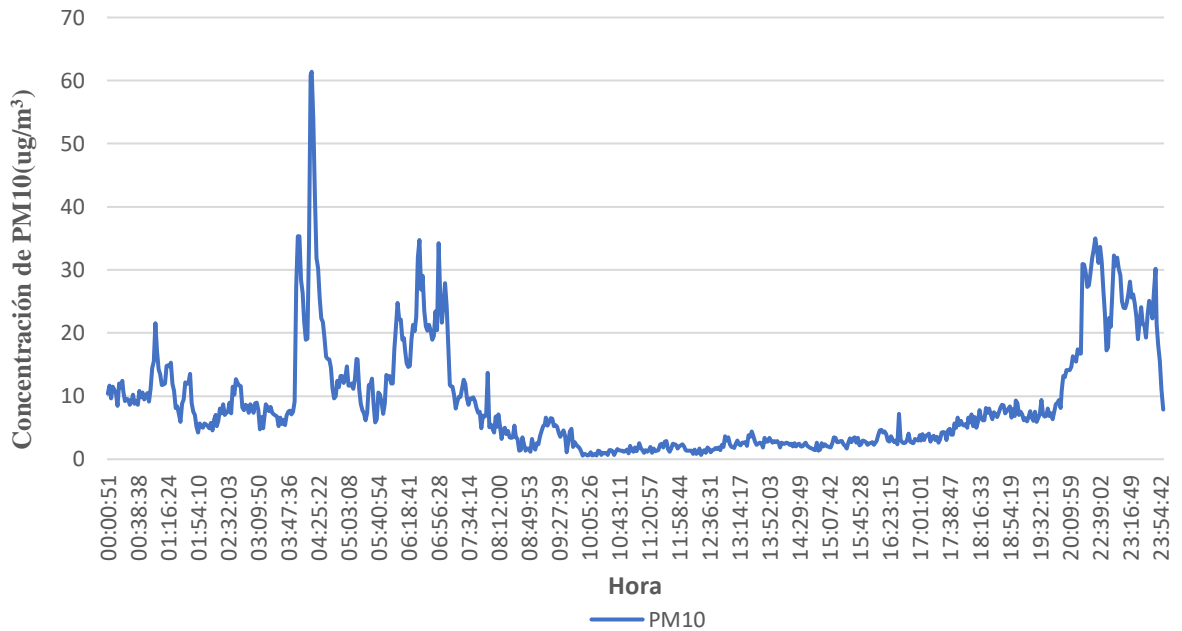
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 06 de diciembre del 2023



En el gráfico 49 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,41 ug/m³ y el máximo fue 48,49 ug/m³ el día 06 de diciembre del 2023.

Gráfico 50

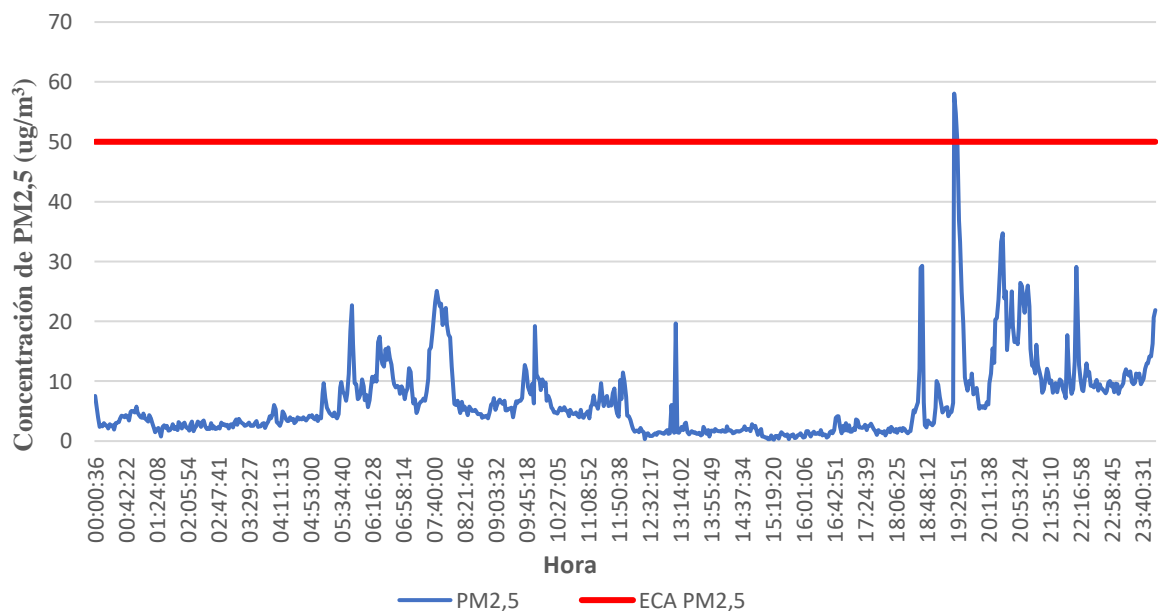
Concentración de PM10(ug/m³) del 06 de diciembre del 2023



En el gráfico 50 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,58 ug/m³ y el máximo fue 61,4 ug/m³ el día 06 de diciembre del 2023.

Gráfico 51

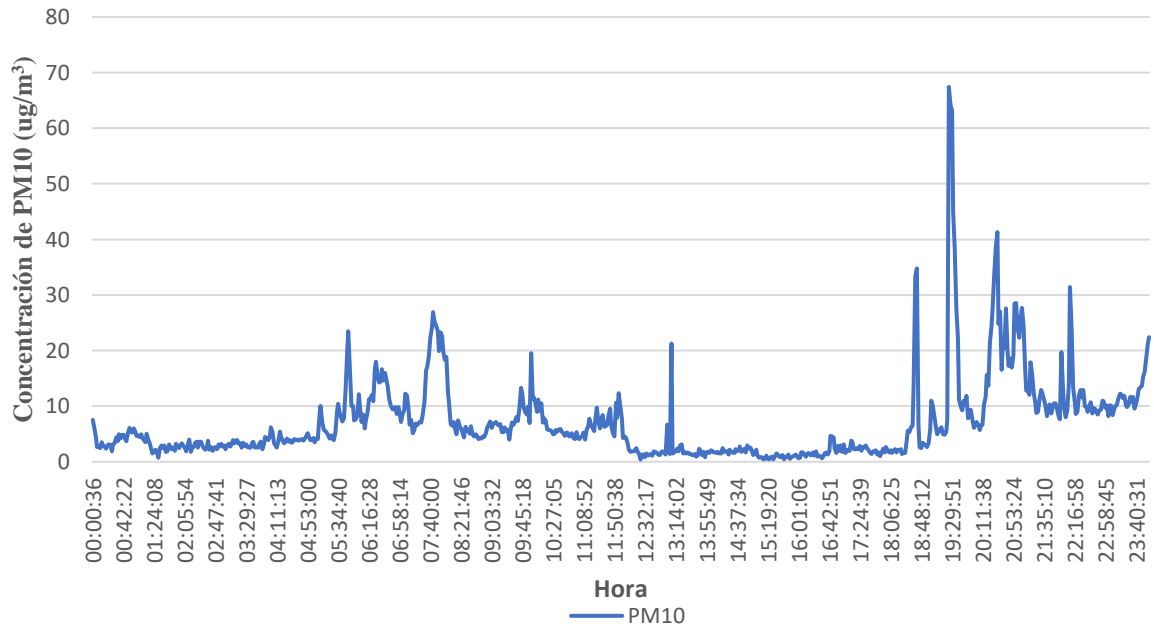
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 07 de diciembre del 2023



En el gráfico 51 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,24 ug/m³ y el máximo fue 58,05 ug/m³ el día 07 de diciembre del 2023.

Gráfico 52

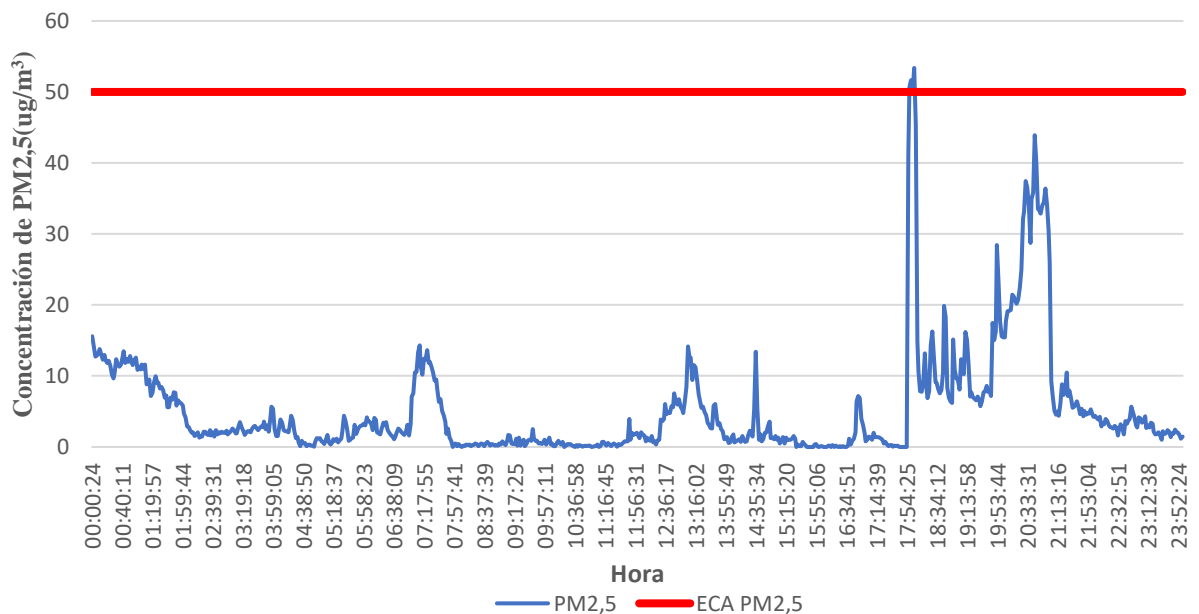
Concentración de PM10(ug/m³) del 07 de diciembre del 2023



En el gráfico 52 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,39 ug/m³ y el máximo fue 67,42 ug/m³ el día 07 de diciembre del 2023.

Gráfico 53

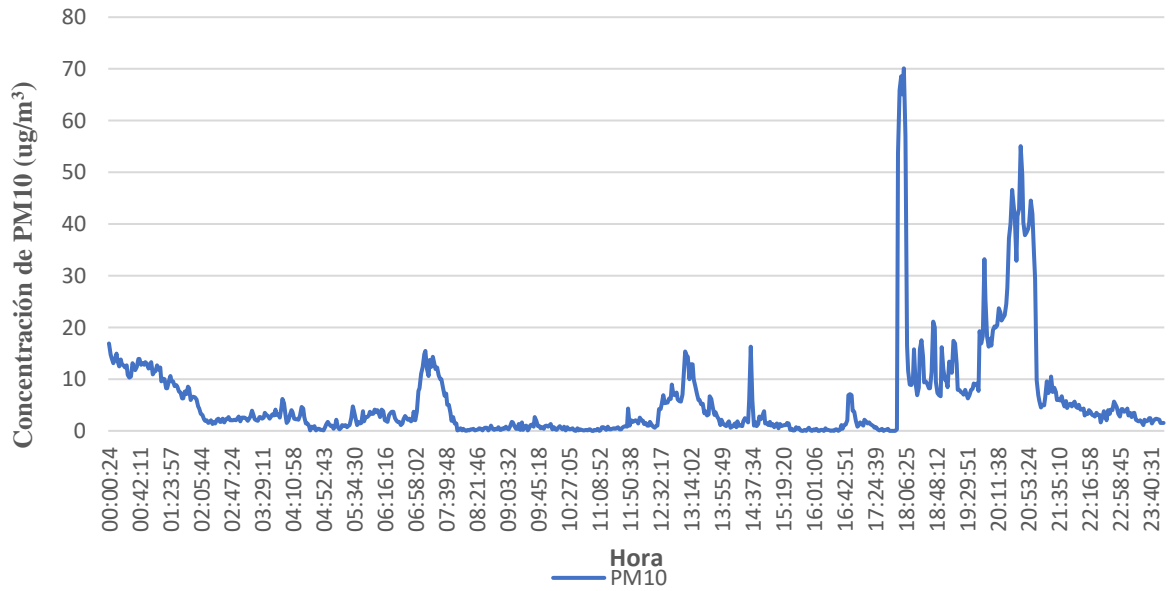
Concentración de PM2,5 (ug/m³) del 08 de diciembre del 2023



En el gráfico 53 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 53,38 ug/m³ el día 08 de diciembre del 2023.

Gráfico 54

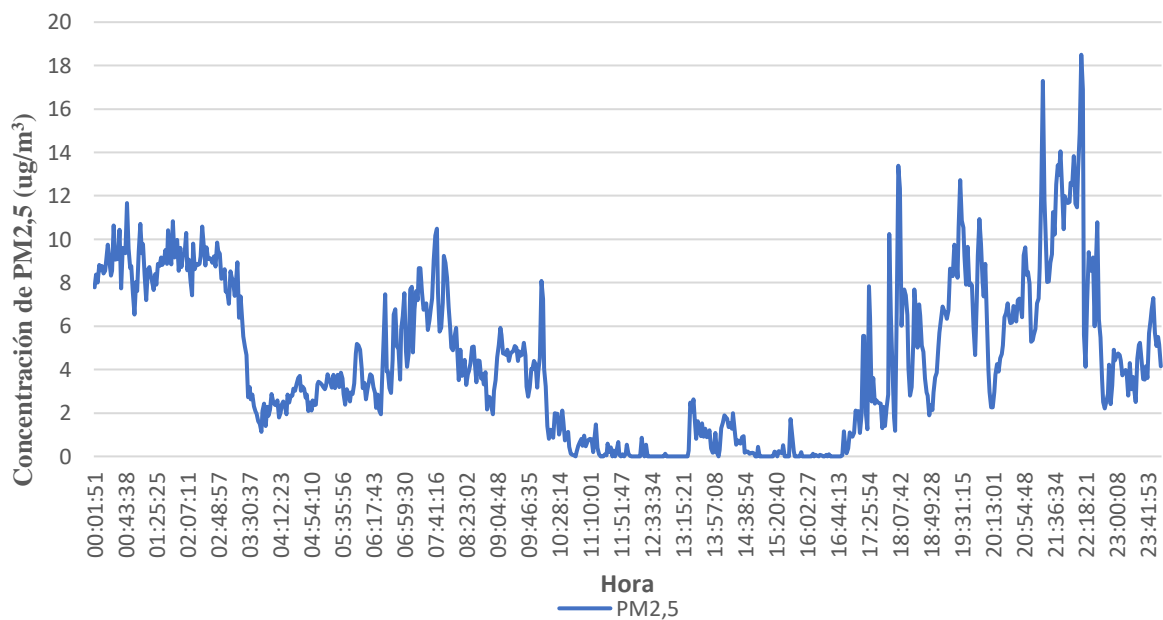
Concentración de PM10 (ug/m³) del 08 de diciembre del 2023



En el gráfico 54 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 70,11 ug/m³ el día 08 de diciembre del 2023.

Gráfico 55

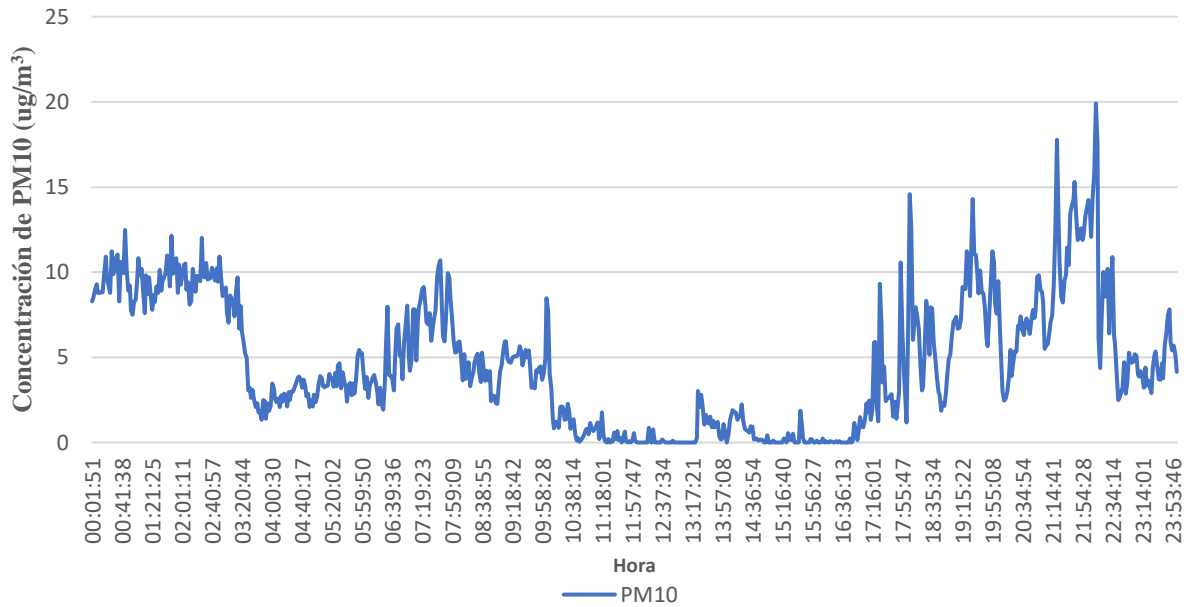
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 09 de diciembre del 2023



En el gráfico 55 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 18,5 ug/m³ el día 09 de diciembre del 2023.

Gráfico 56

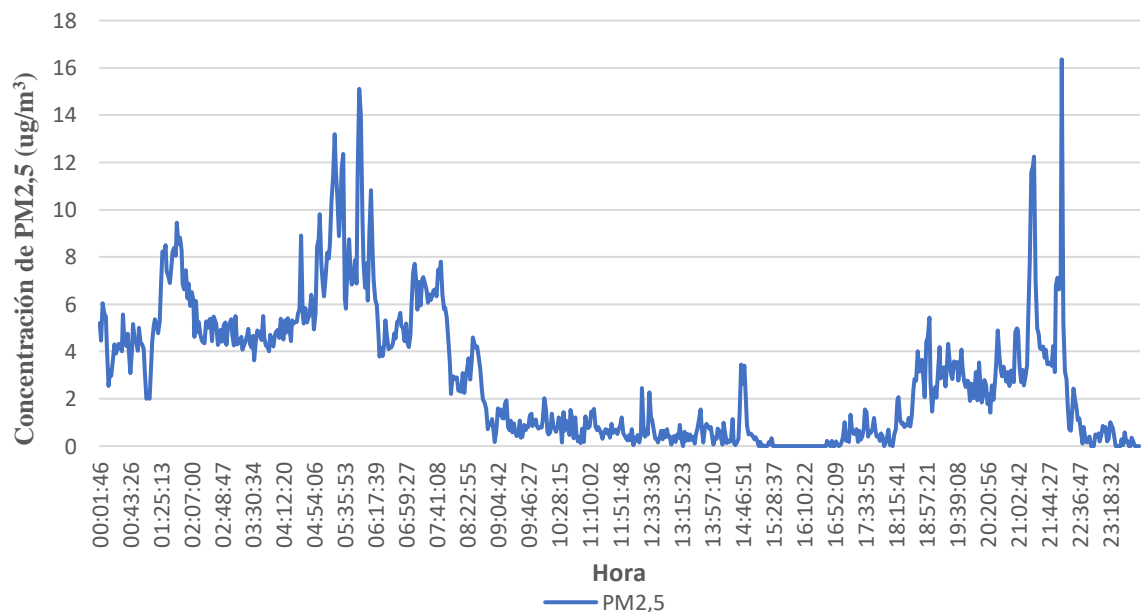
Concentración de PM10(ug/m³) del 09 de diciembre del 2023



En el gráfico 56 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 19,91 ug/m³ el día 09 de diciembre del 2023.

Gráfico 57

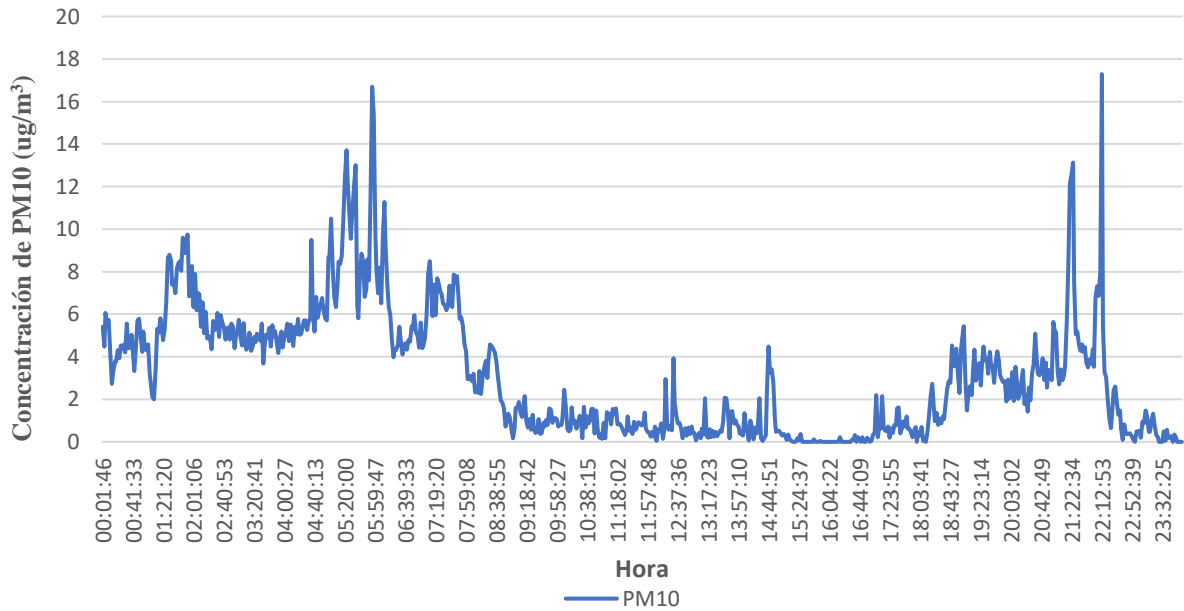
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 10 de diciembre del 2023



En el gráfico 57 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 16,36 ug/m³ el día 10 de diciembre del 2023.

Gráfico 58

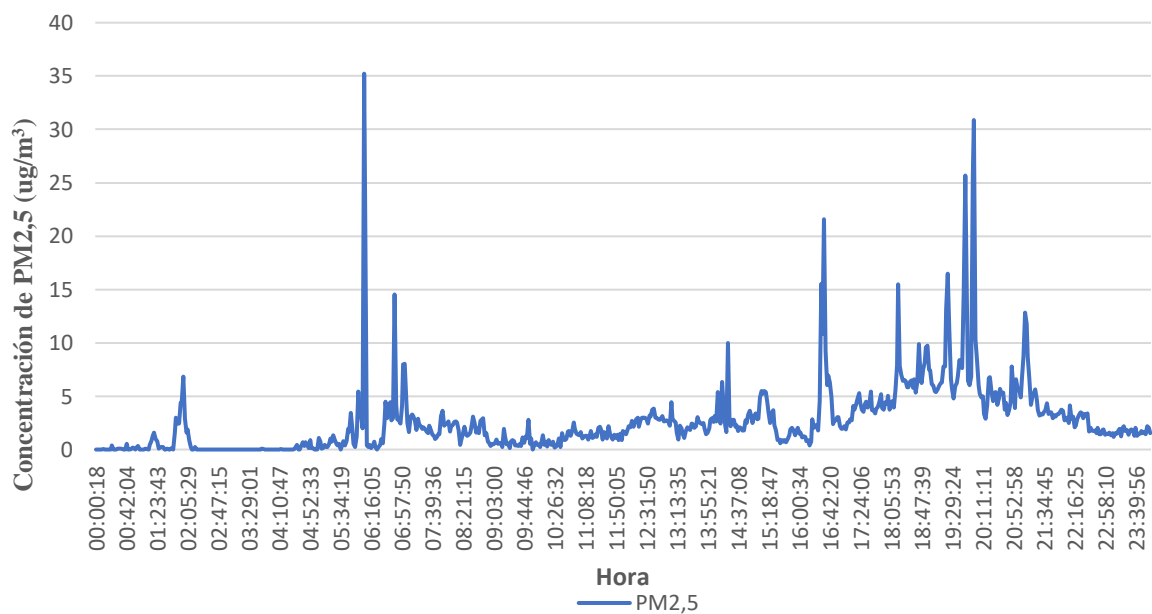
Concentración de PM10(ug/m³) del 10 de diciembre del 2023



En el gráfico 58 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 17,29 ug/m³ el día 10 de diciembre del 2023.

Gráfico 59

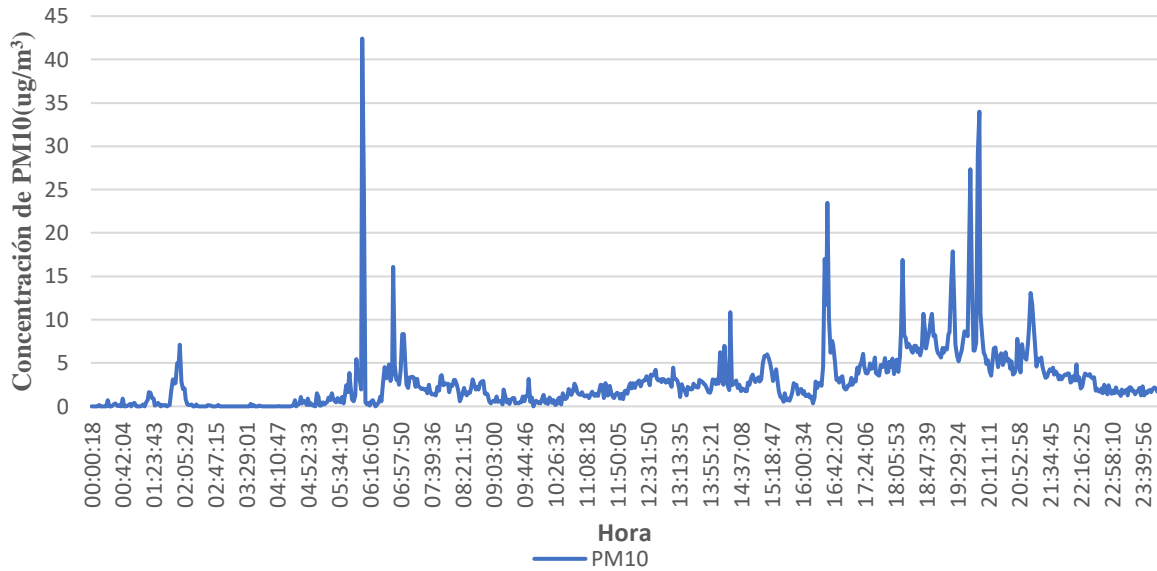
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 11 de diciembre del 2023



En el gráfico 59 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 35,22 ug/m³ el día 11 de diciembre del 2023.

Gráfico 60

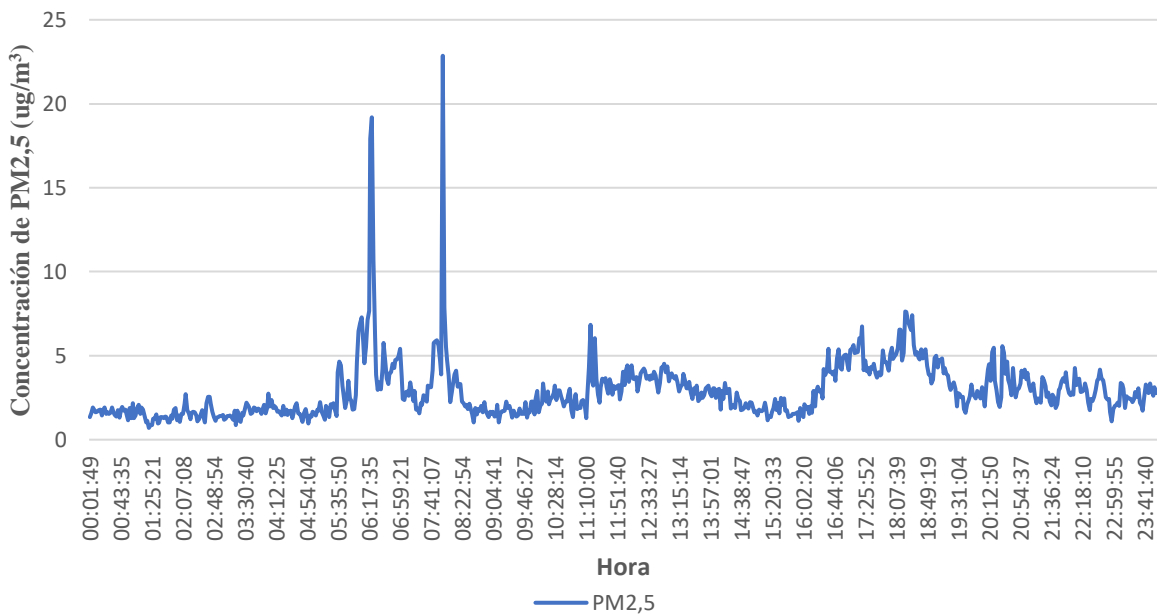
Concentración de PM10 (ug/m³) del 11 de diciembre del 2023



En el gráfico 60 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 42,42 ug/m³ el día 11 de diciembre del 2023.

Gráfico 61

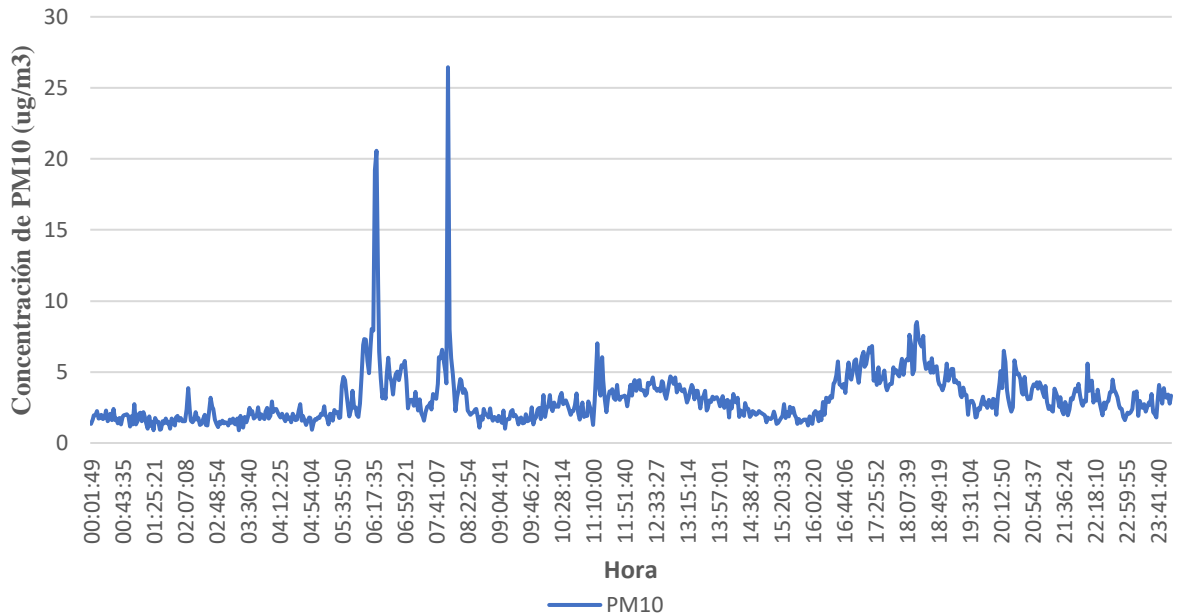
Concentración de PM2,5 (ug/m³) del 12 de diciembre del 2023



En el gráfico 61 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,7 ug/m³ y el máximo fue 22,86 ug/m³ el día 12 de diciembre del 2023.

Gráfico 62

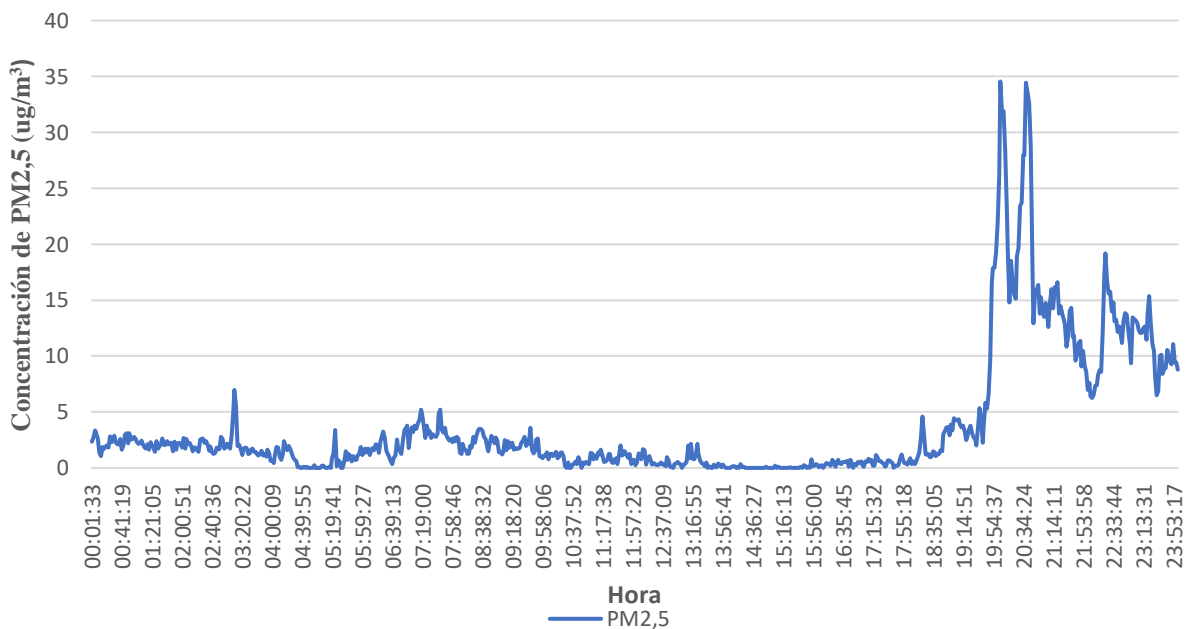
Concentración de PM10 (ug/m³) del 12 de diciembre del 2023



En el gráfico 62 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,9 ug/m³ y el máximo fue 26,45 ug/m³ el día 12 de diciembre del 2023.

Gráfico 63

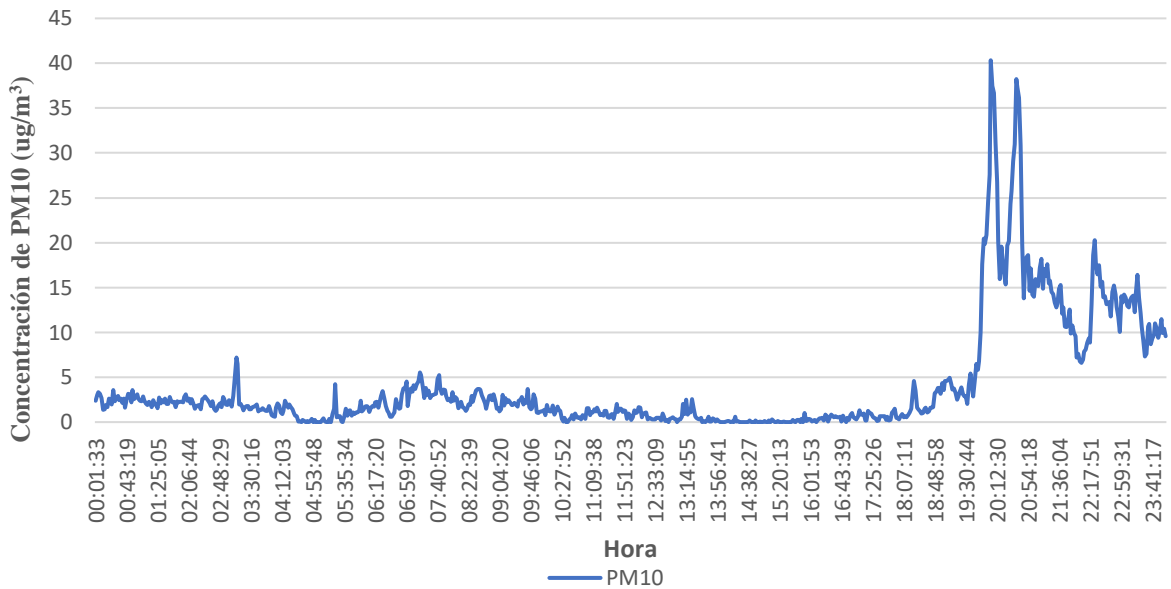
Concentración de PM2,5 (ug/m³) del 13 de diciembre del 2023



En el gráfico 63 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es de 0 ug/m³ y el máximo fue 34,55 ug/m³ el día 13 de diciembre del 2023.

Gráfico 64

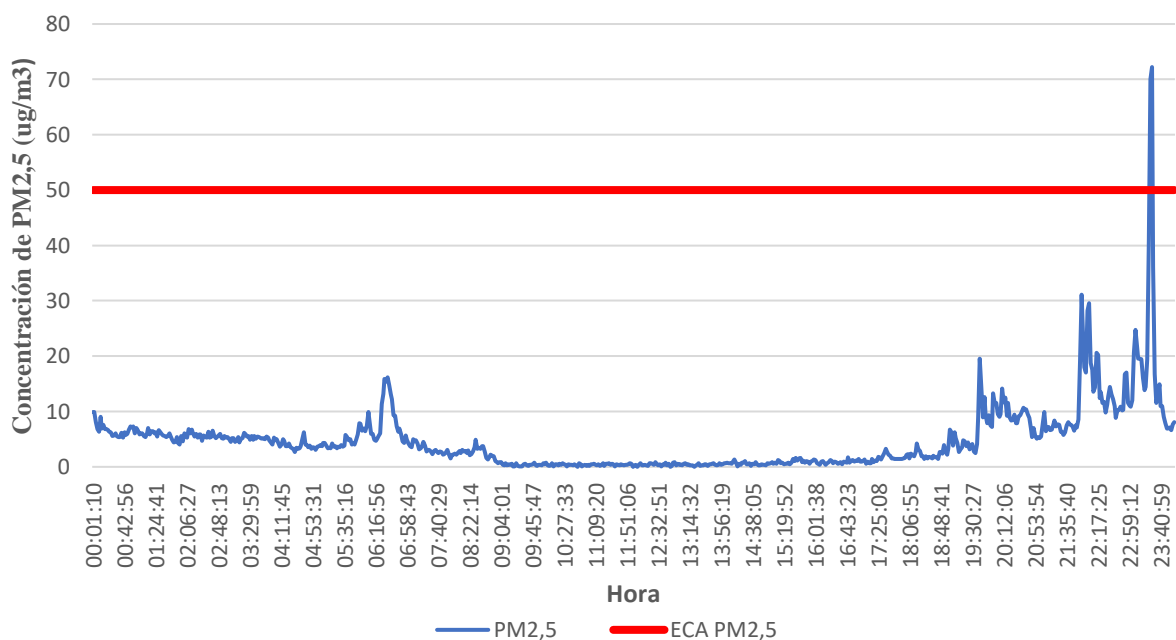
Concentración de PM10(ug/m³) del 13 de diciembre del 2023



En el gráfico 64 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 40,33 ug/m³ el día 13 de diciembre del 2023.

Gráfico 65

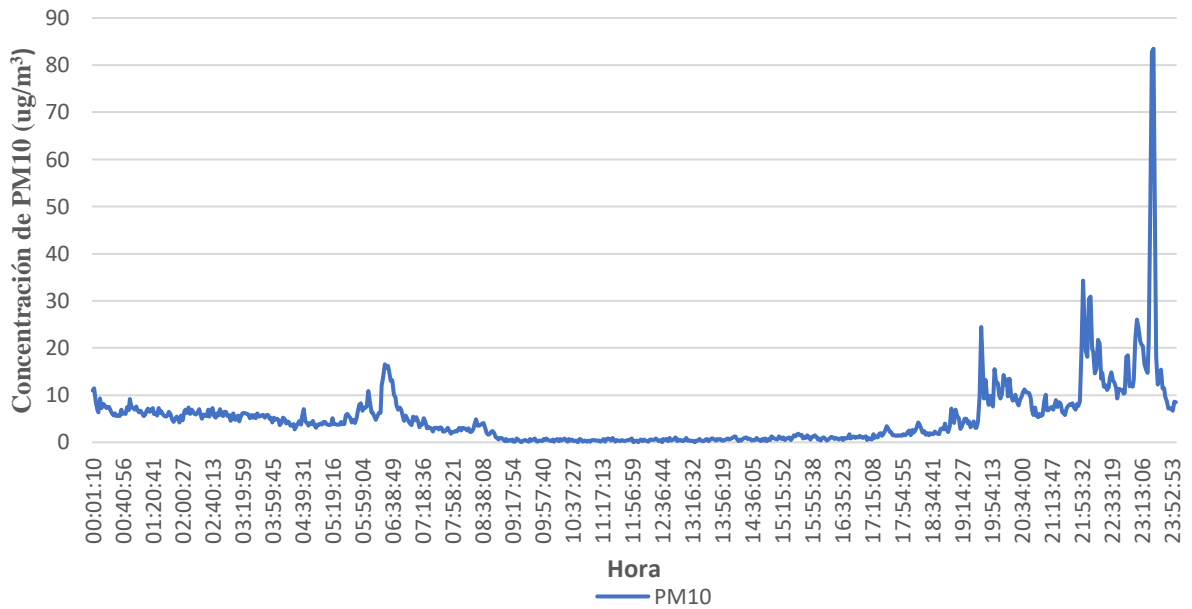
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 14 de diciembre del 2023



En el gráfico 65 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 72,22 ug/m³ el día 14 de diciembre del 2023.

Gráfico 66

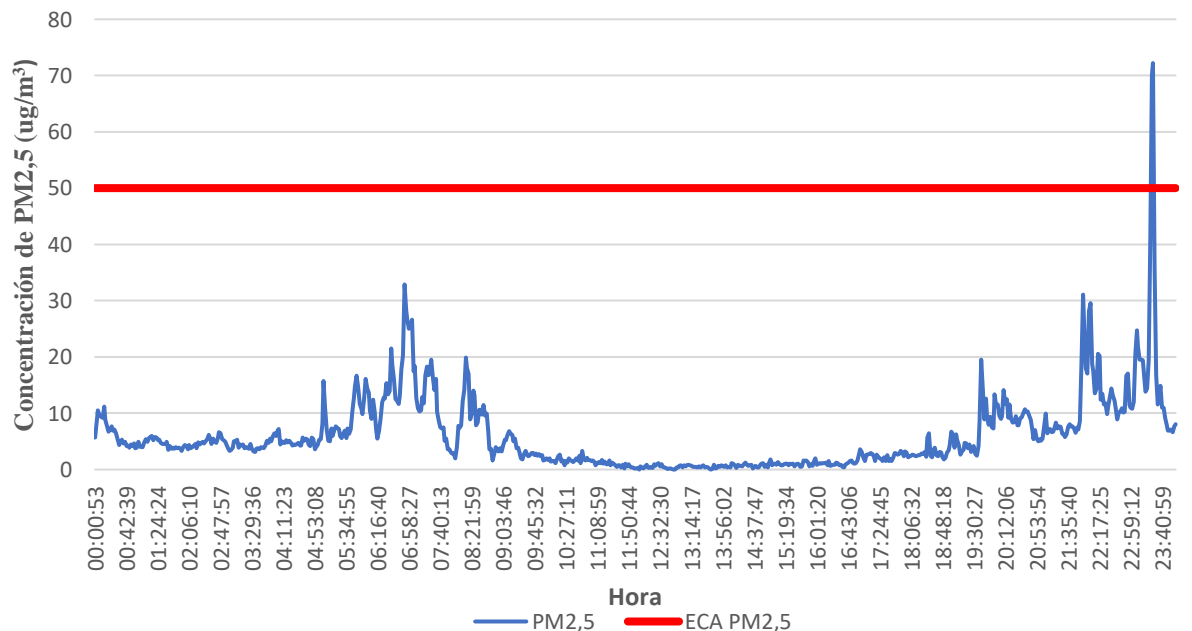
Concentración de PM10(ug/m³) del 14 de diciembre del 2023



En el gráfico 66 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 83,49 ug/m³ el día 14 de diciembre del 2023.

Gráfico 67

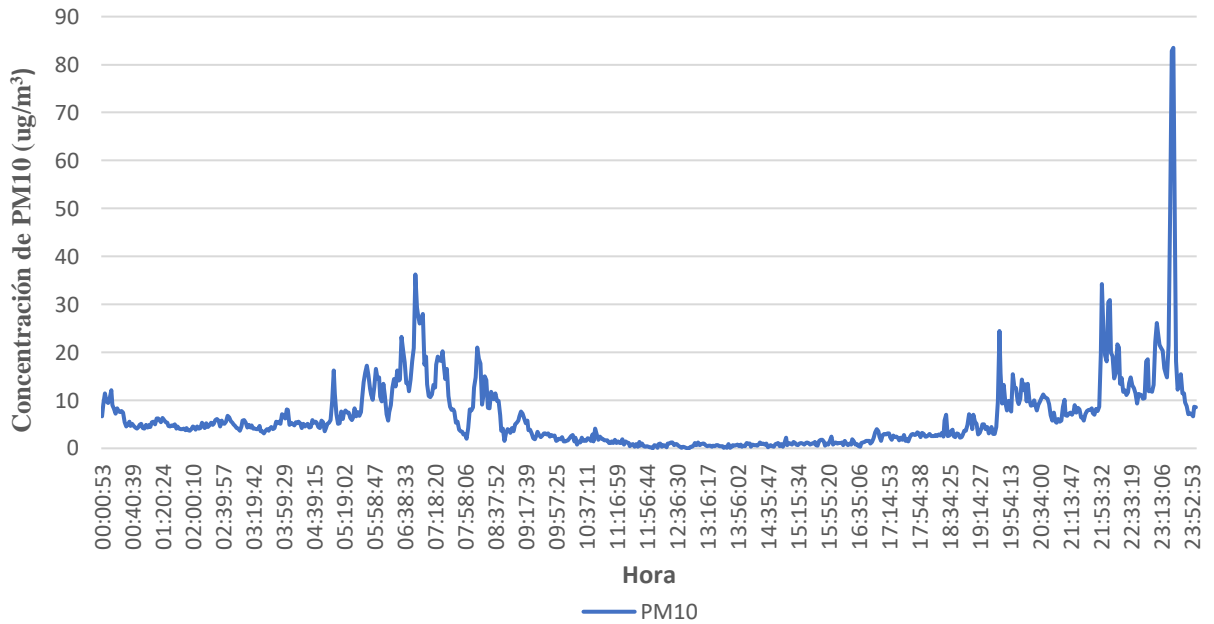
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 15 de diciembre del 2023



En el gráfico 67 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 72,22 ug/m³ el día 15 de diciembre del 2023.

Gráfico 68

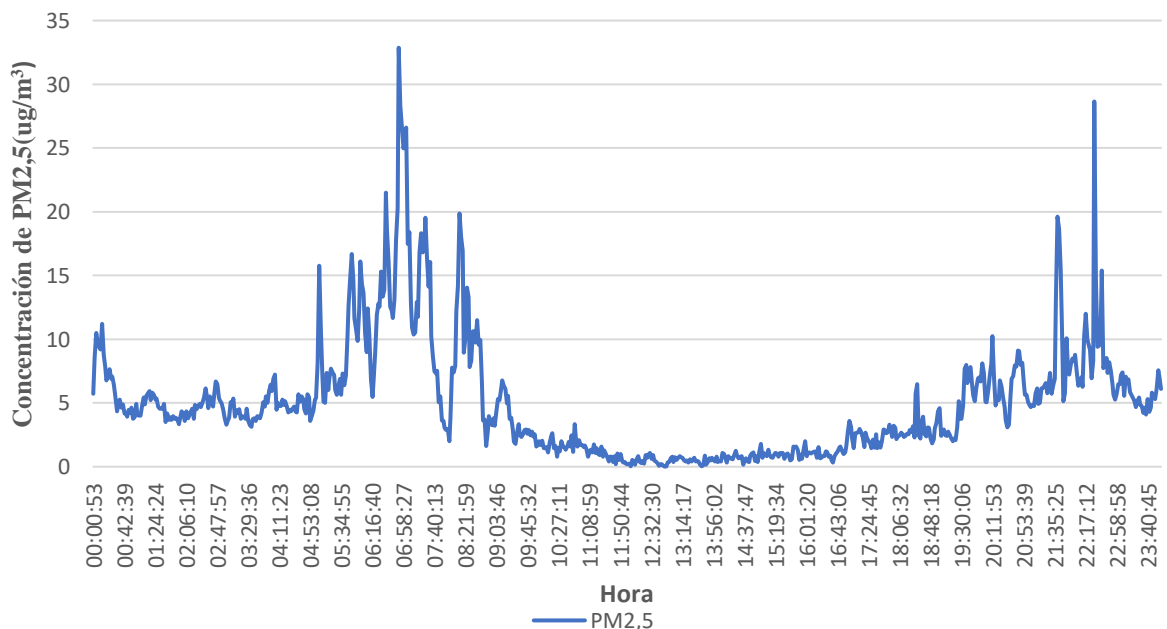
Concentración de PM10(ug/m³) del 15 de diciembre del 2023



En el gráfico 68 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 83,49 ug/m³ el día 15 de diciembre del 2023.

Gráfico 69

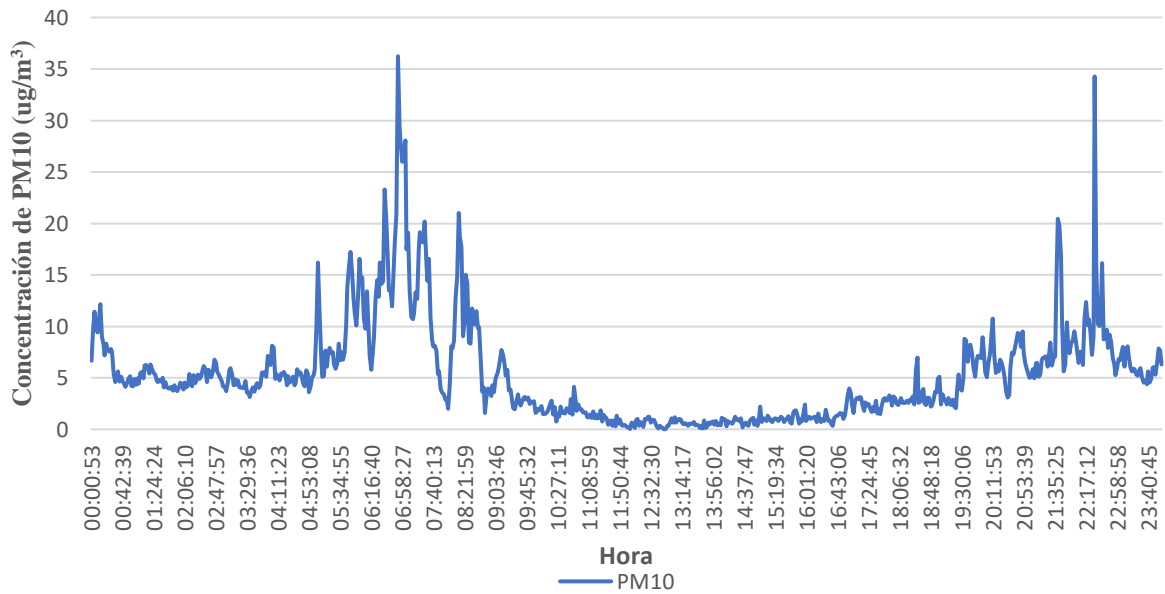
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 16 de diciembre del 2023



En el gráfico 69 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 32,87 ug/m³ el día 16 de diciembre del 2023.

Gráfico 70

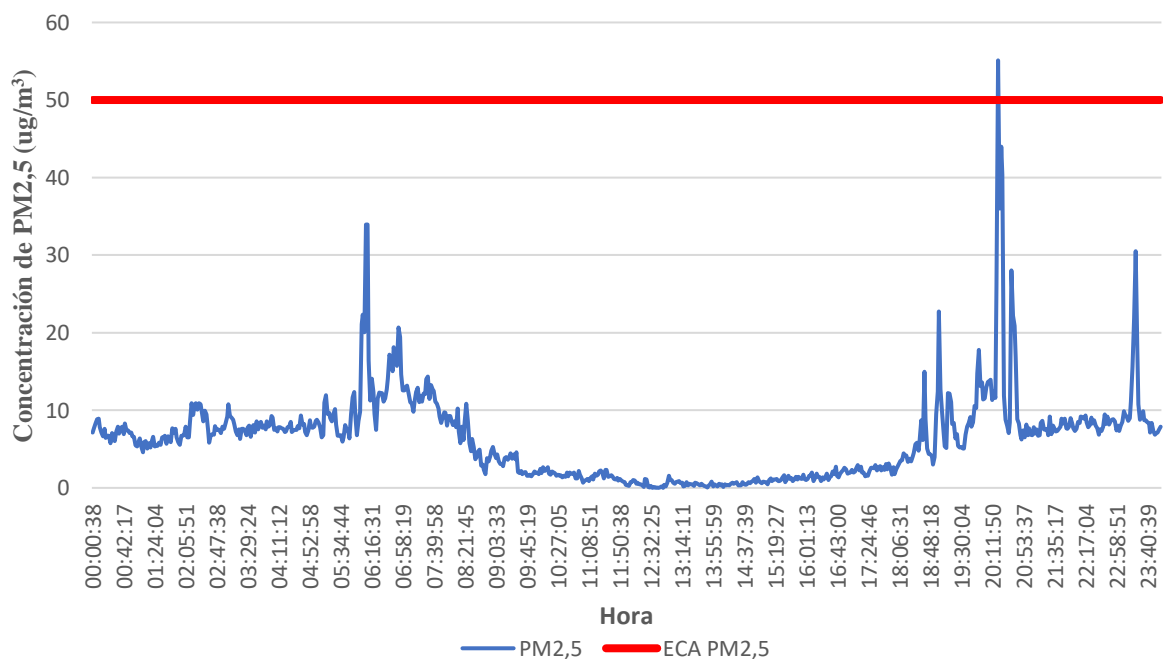
Concentración de PM10(ug/m³) del 16 de diciembre del 2023



En el gráfico 70 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 36,24 ug/m³ el día 16 de diciembre del 2023.

Gráfico 71

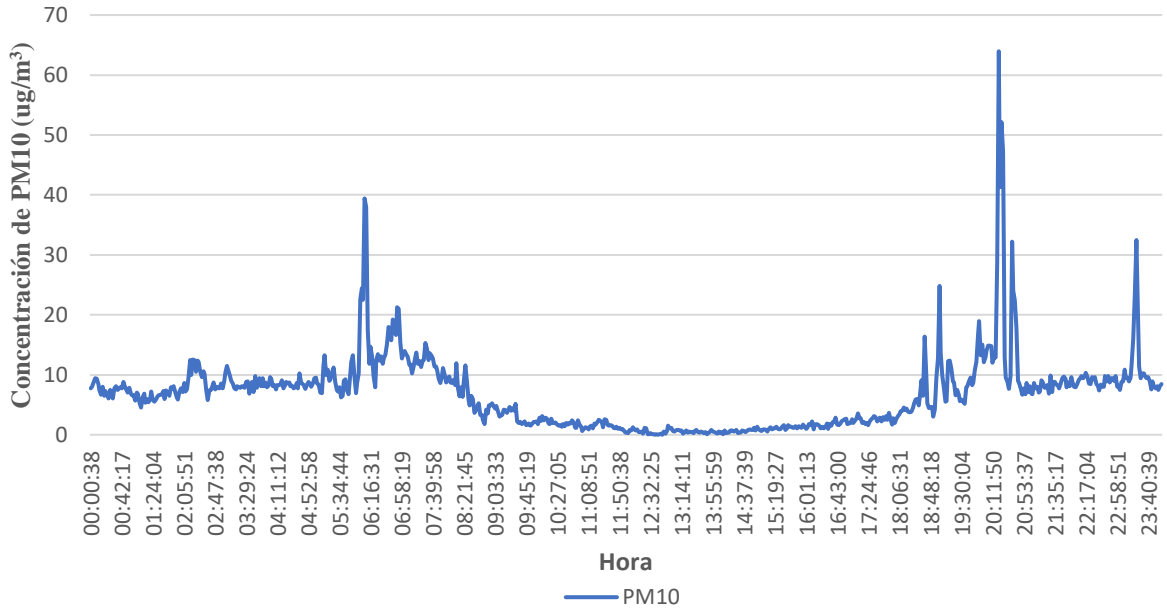
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 17 de diciembre del 2023



En el gráfico 71 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 55,11 ug/m³ el día 17 de diciembre del 2023.

Gráfico 72

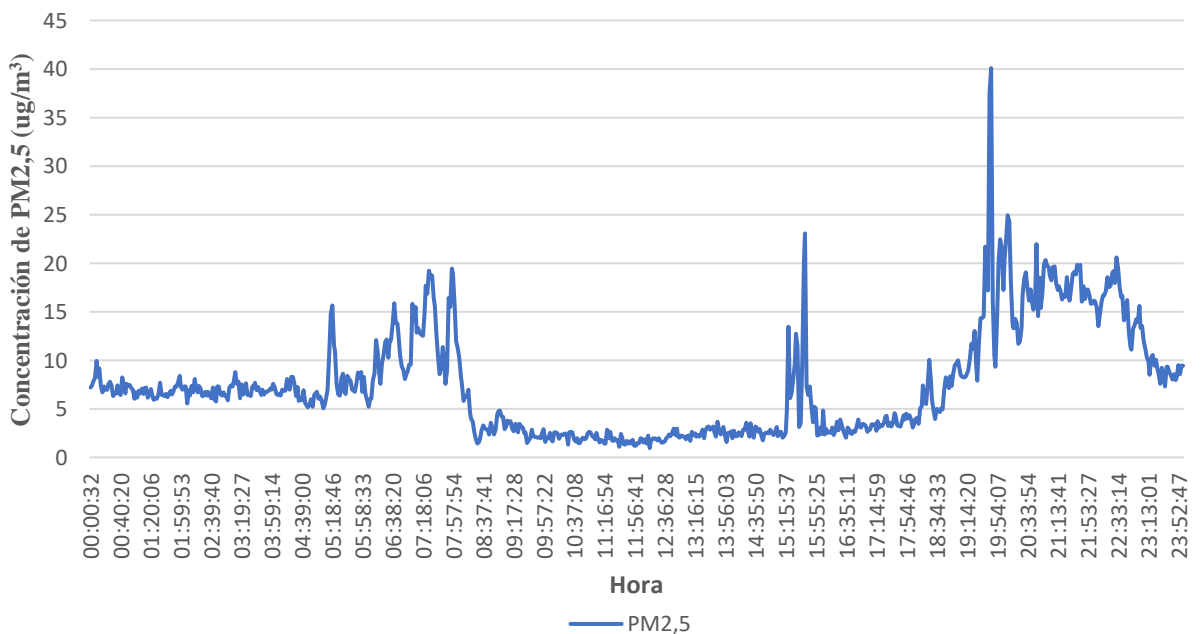
Concentración de PM10 (ug/m³) del 17 de diciembre del 2023



En el gráfico 72, se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 63,95 ug/m³ el día 17 de diciembre del 2023.

Gráfico 73

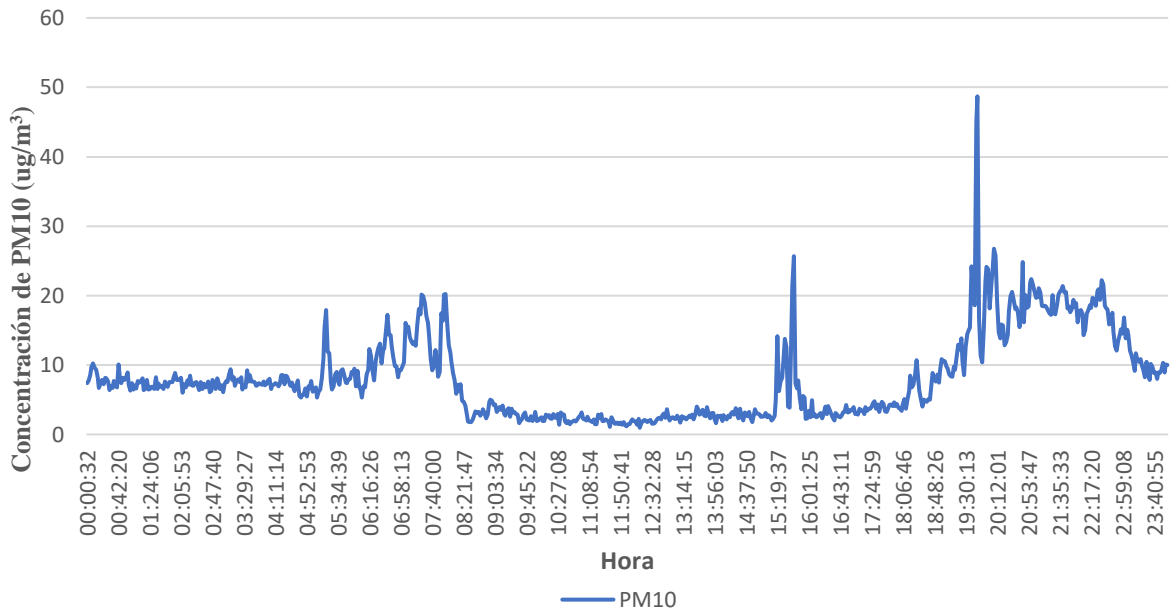
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 18 de diciembre del 2023



En el gráfico 73 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,96 ug/m³ y el máximo fue 40,09 ug/m³ el día 18 de diciembre del 2023.

Gráfico 74

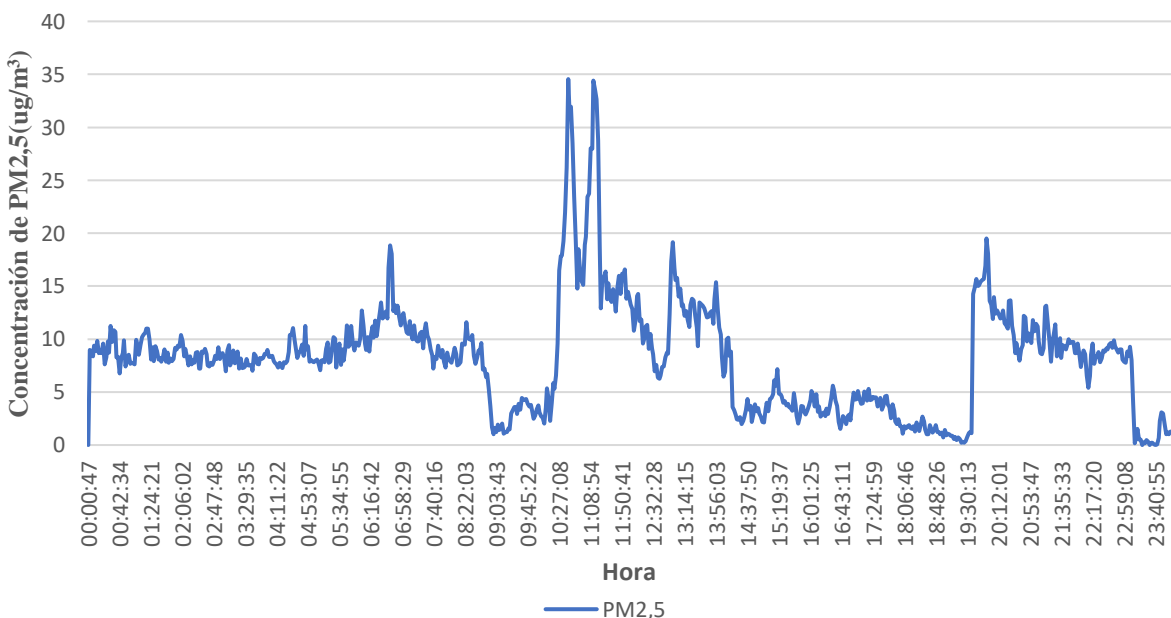
Concentración de PM10(ug/m³) del 18 de diciembre del 2023



En el gráfico 74 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es de 0,96 ug/m³ y el máximo fue 48,7 ug/m³ el día 18 de diciembre del 2023.

Gráfico 75

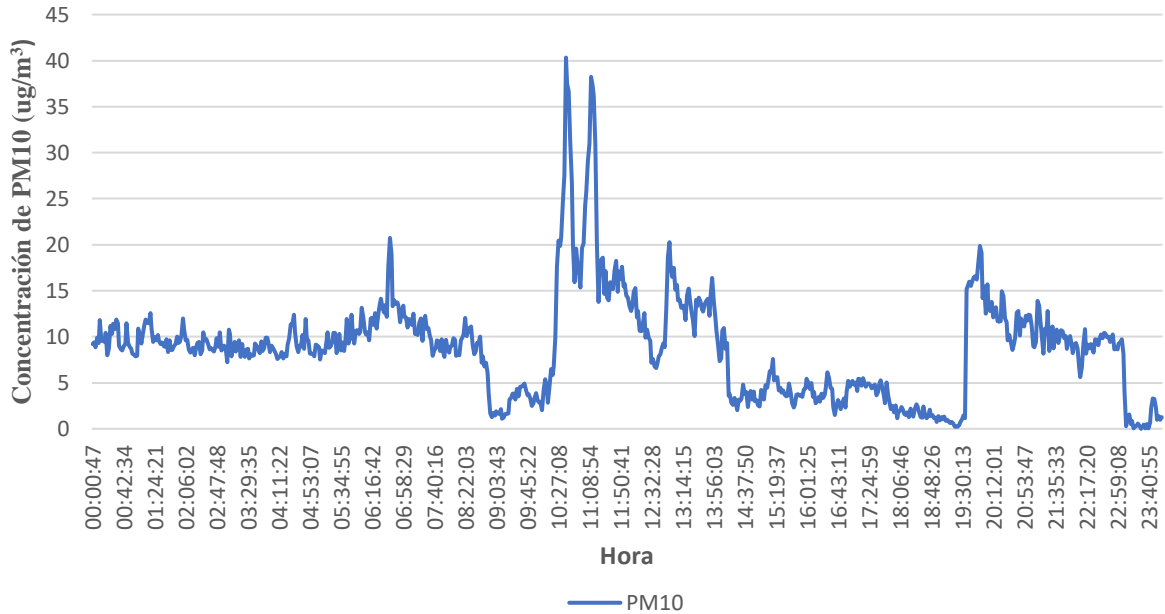
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 19 de diciembre del 2023



En el gráfico 75, se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 34,55 ug/m³ el día 19 de diciembre del 2023.

Gráfico 76

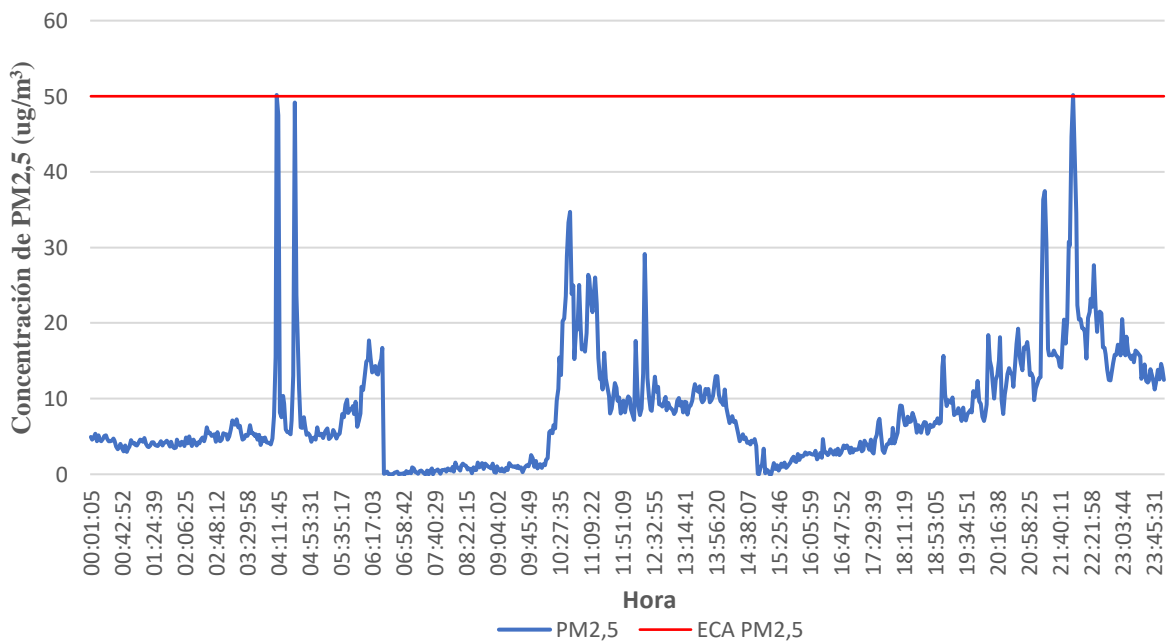
Concentración de PM10(ug/m³) del 19 de diciembre del 2023



En el gráfico 76 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,96 ug/m³ y el máximo fue 40,33 ug/m³ el día 19 de diciembre del 2023.

Gráfico 77

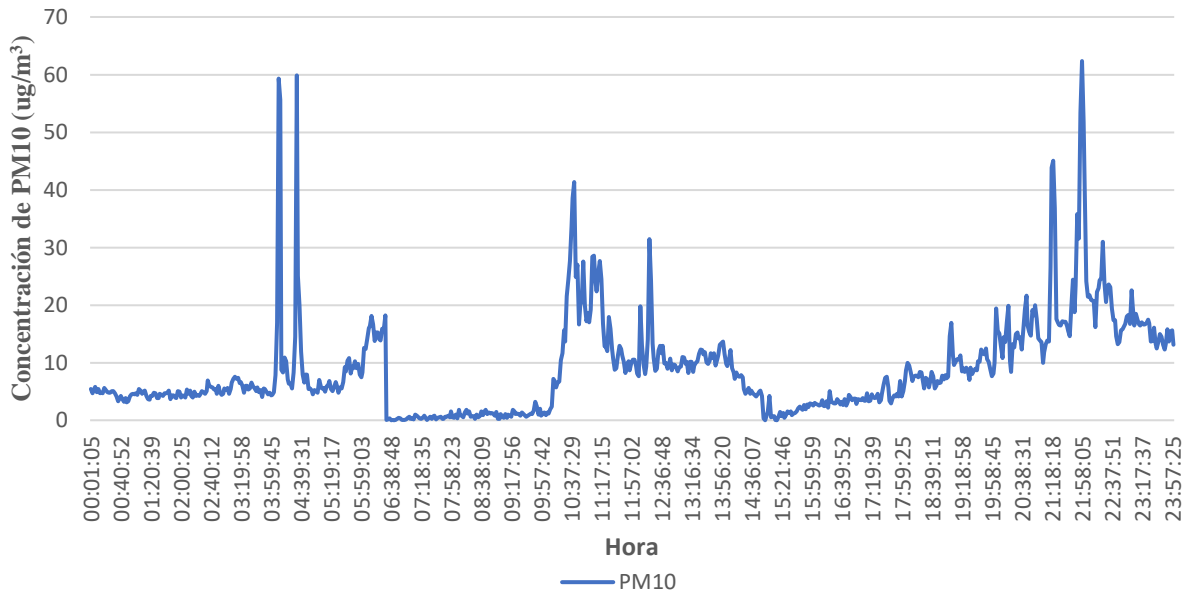
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 20 de diciembre del 2023



En el gráfico 77 se muestra la concentración del PM_{2,5} donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 50,17 ug/m³ el día 20 de diciembre del 2023.

Gráfico 78

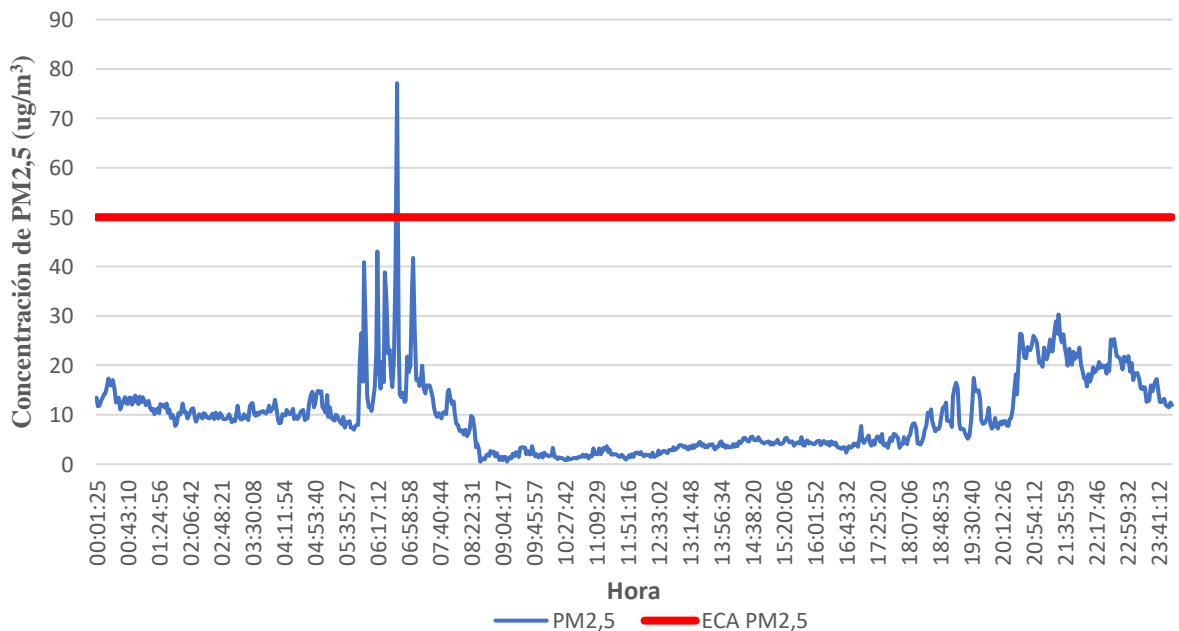
Concentración de PM₁₀(ug/m³) del 20 de diciembre del 2023



En el gráfico 78 se muestra la concentración del PM₁₀ donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 62,35 ug/m³ el día 20 de diciembre del 2023.

Gráfico 79

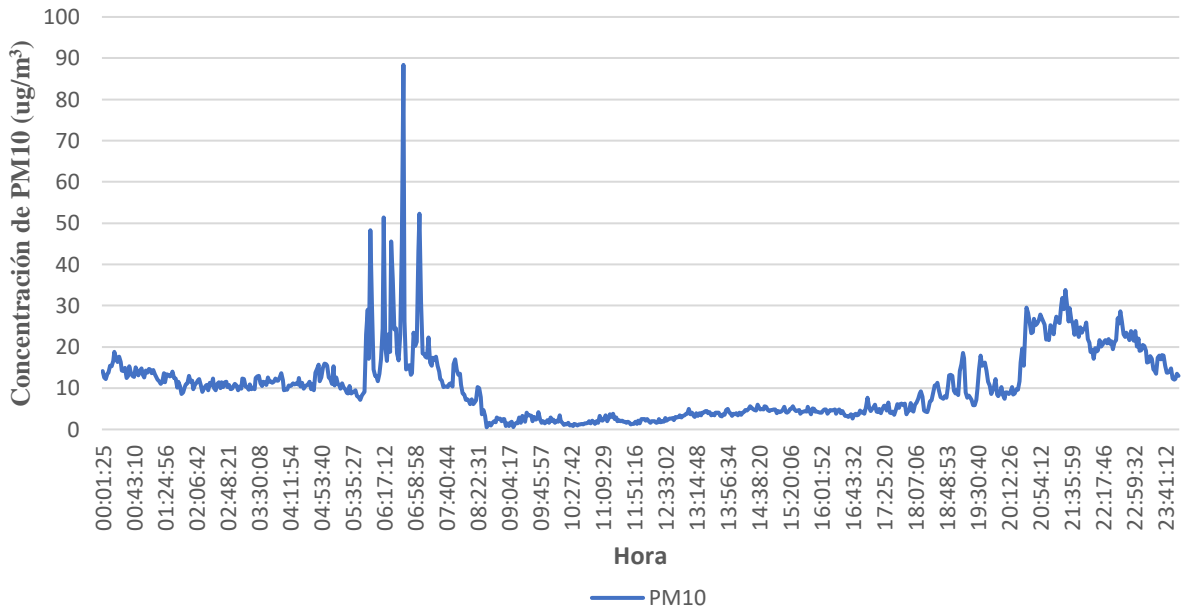
Concentración de PM_{2,5}(ug/m³) del 21 de diciembre del 2023



En el gráfico 79 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,51 ug/m³ y el máximo fue 77,12 ug/m³ el día 21 de diciembre del 2023.

Gráfico 80

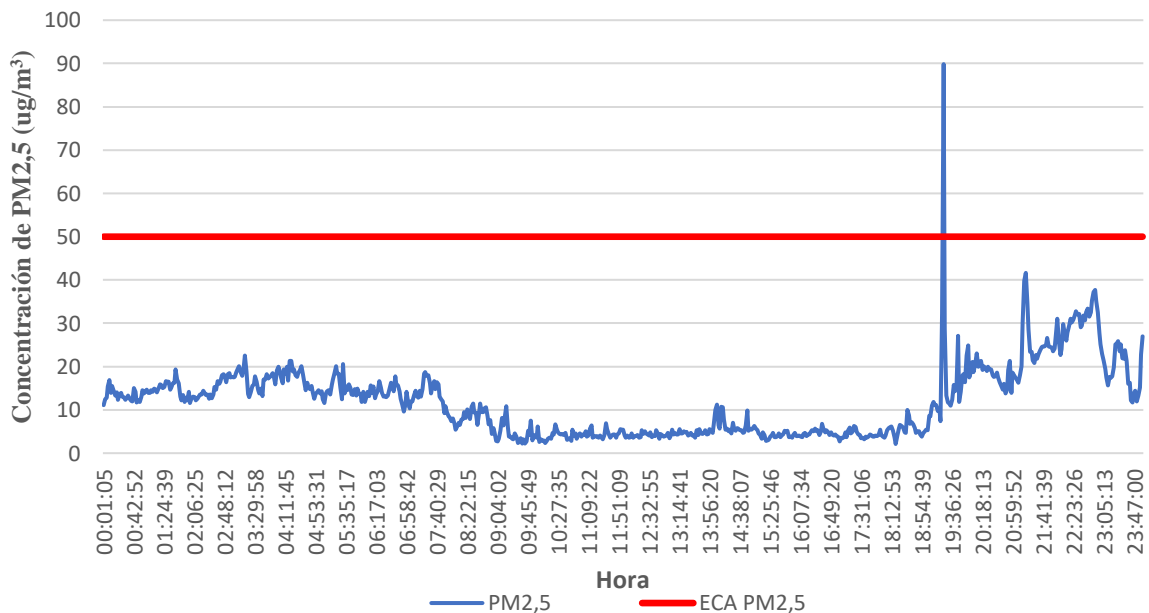
Concentración de PM10 (ug/m³) del 21 de diciembre del 2023



En el gráfico 80 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,51 ug/m³ y el máximo fue 88,38 ug/m³ el día 21 de diciembre del 2023.

Gráfico 81

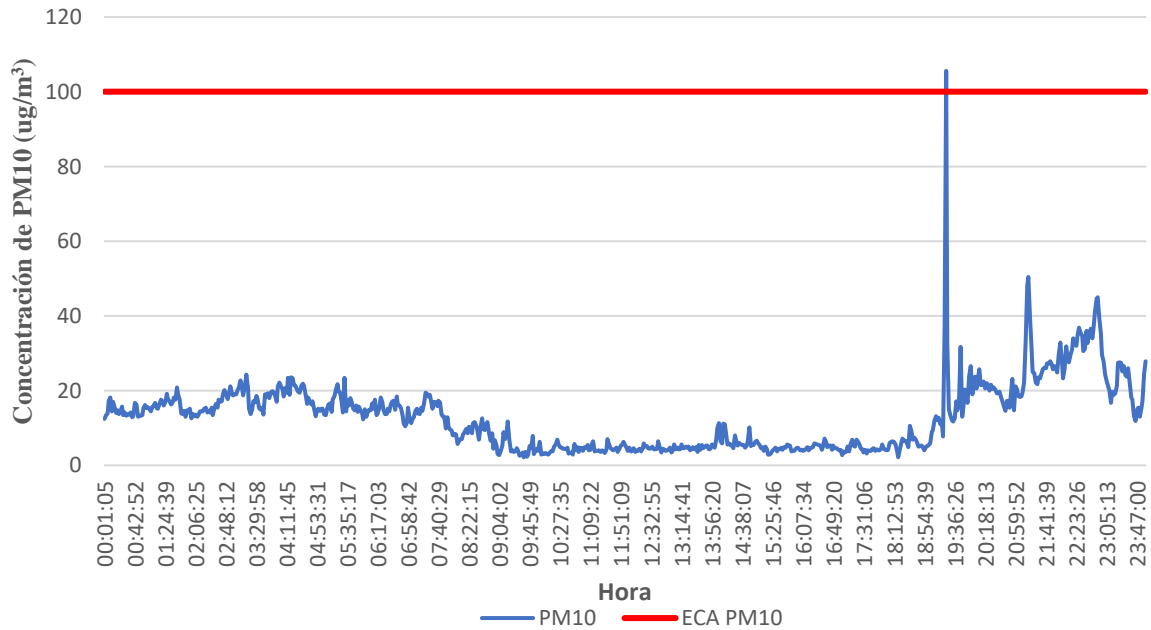
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 22 de diciembre del 2023



En el gráfico 81 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 2,12 ug/m³ y el máximo fue 89,85 ug/m³ el día 22 de diciembre del 2023.

Gráfico 82

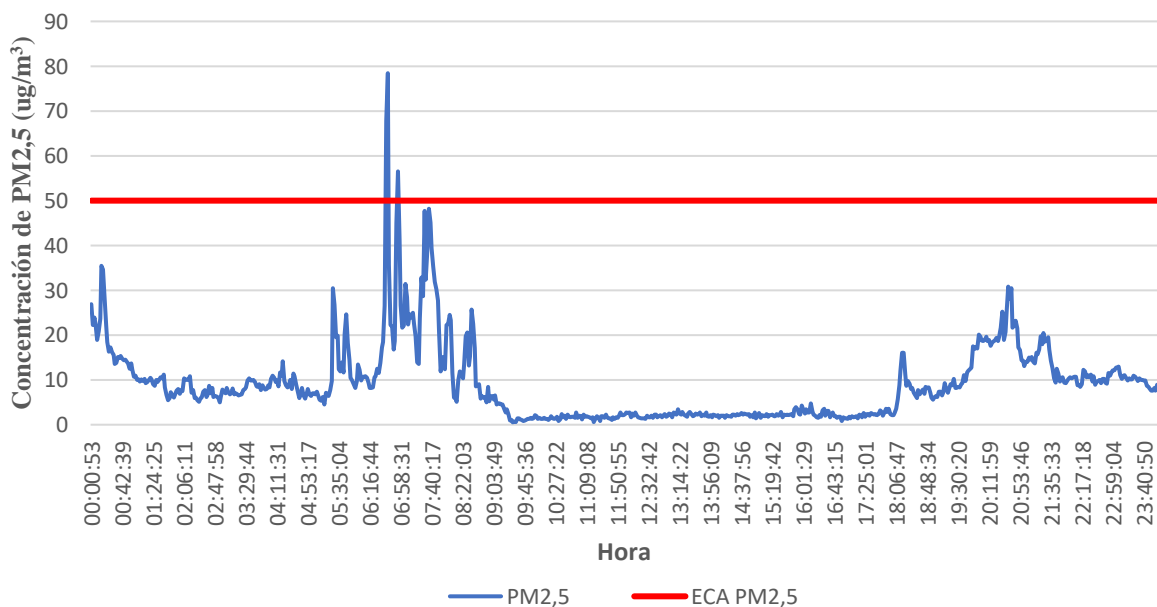
Concentración de PM10 (ug/m³) del 22 de diciembre del 2023



En el gráfico 82 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es de 2,15 ug/m³ y el máximo fue 105,56 ug/m³ el día 22 de diciembre del 2023.

Gráfico 83

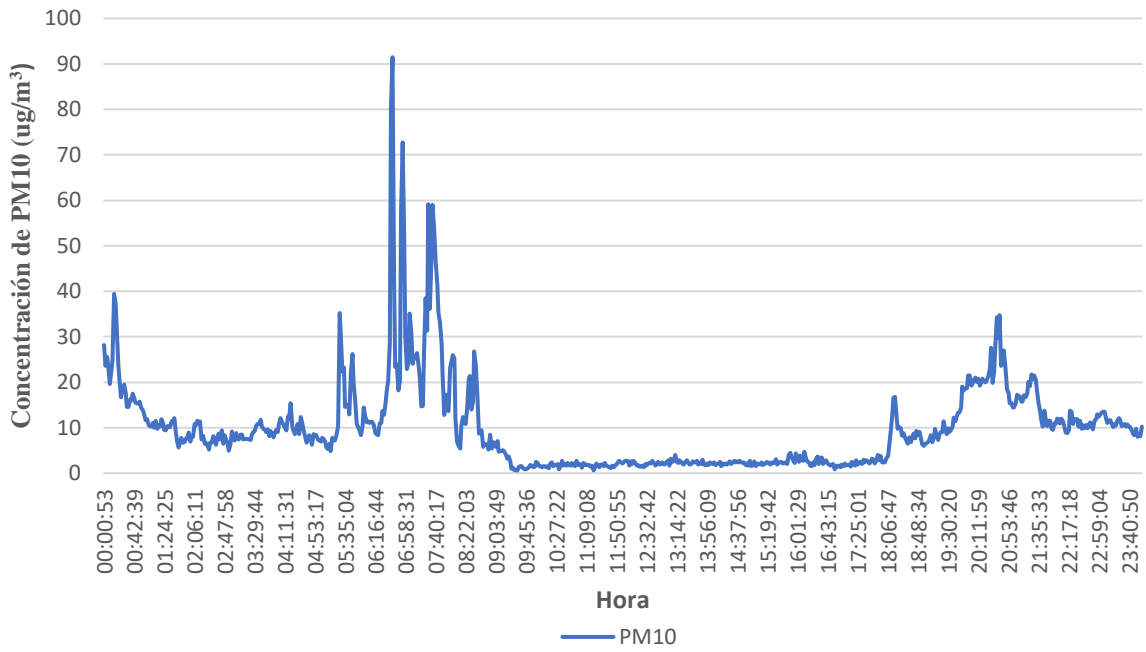
Concentración de PM2,5 (ug/m³) del 23 de diciembre del 2023



En el gráfico 83 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0,53 ug/m³ y el máximo fue 78,44 ug/m³ el día 23 de diciembre del 2023.

Gráfico 84

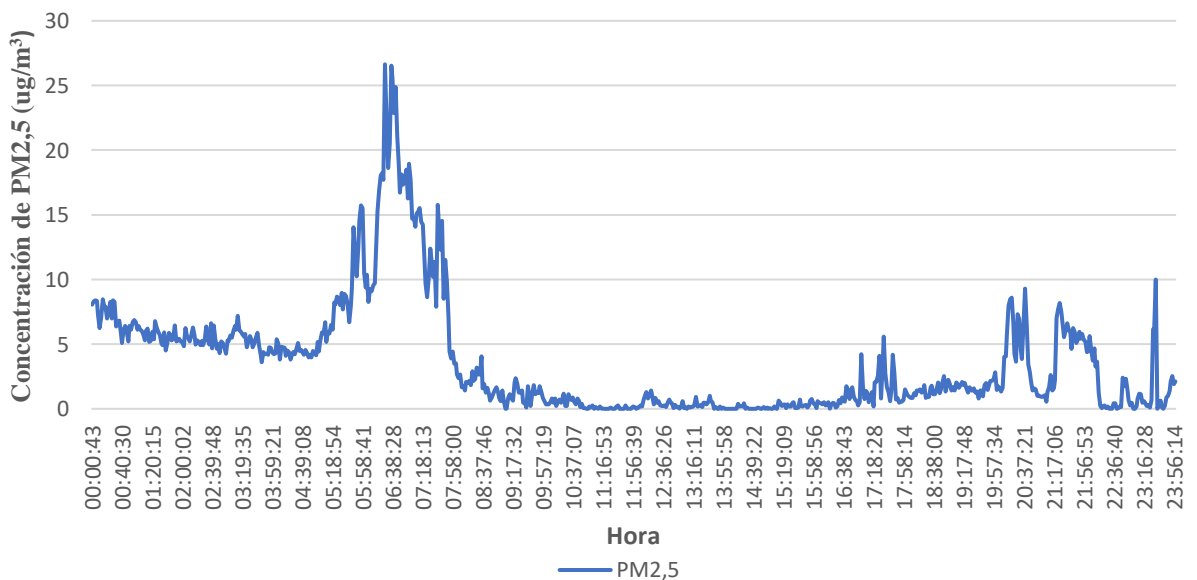
Concentración de PM10(ug/m³) del 23 de diciembre del 2023



En el gráfico 84 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0,55 ug/m³ y el máximo fue 91,46 ug/m³ el día 23 de diciembre del 2023.

Gráfico 85

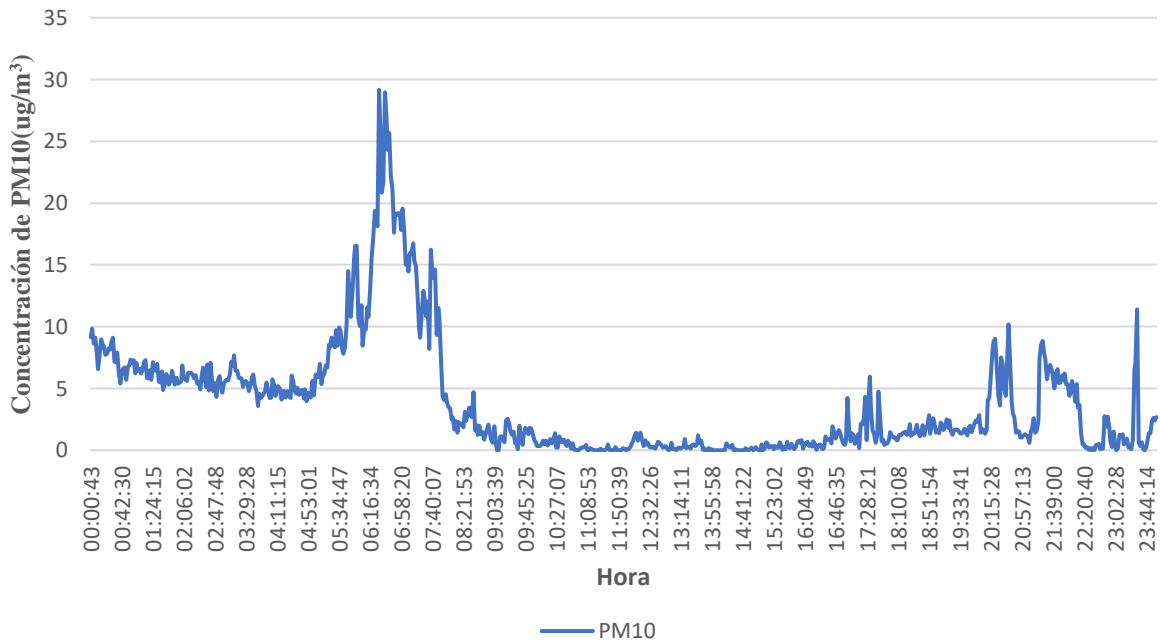
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 24 de diciembre del 2023



En el gráfico 85 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 26,64 ug/m³ el día 24 de diciembre del 2023.

Gráfico 86

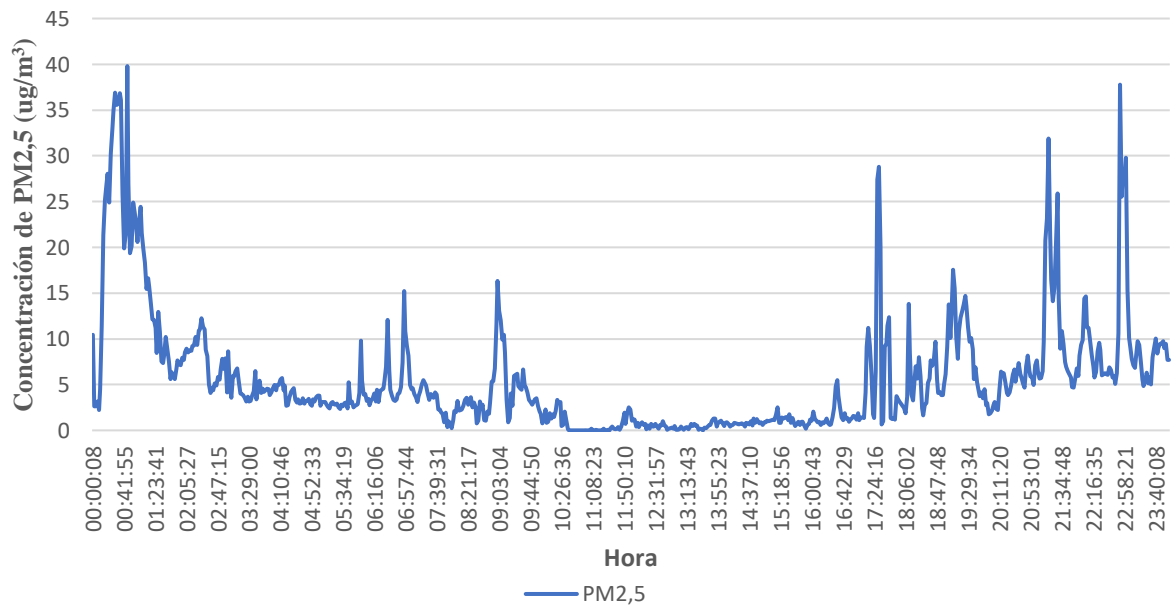
Concentración de PM10(ug/m3) del 24 de diciembre del 2023



En el gráfico 86 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 29,16 ug/m³ el día 24 de diciembre.

Gráfico 87

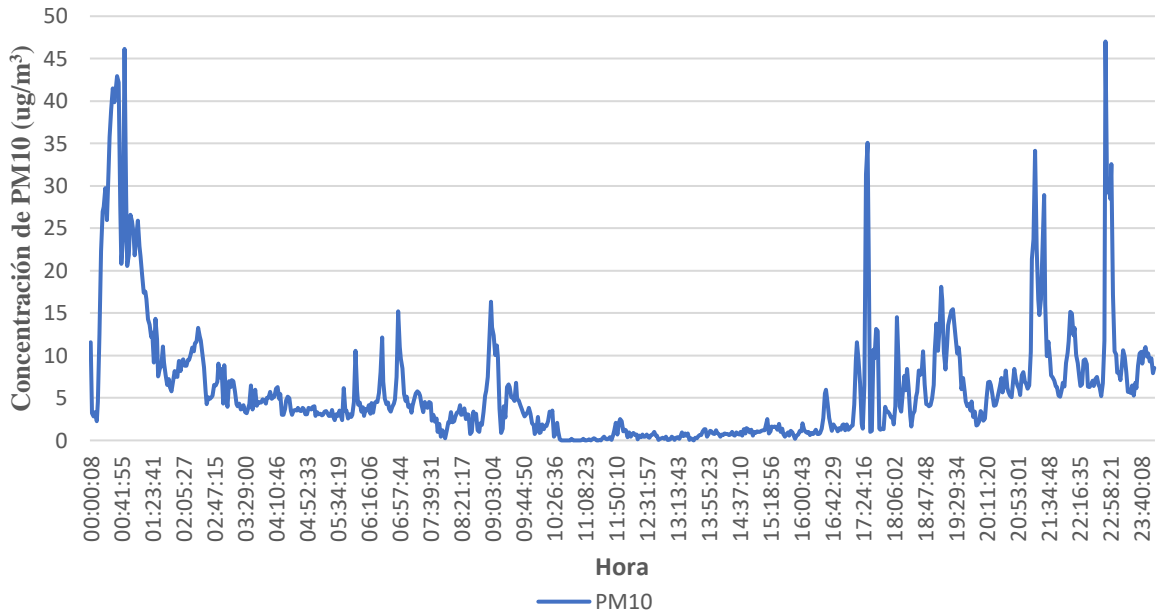
Concentración de PM2,5(ug/m3) del 25 de diciembre del 2023



En el gráfico 87 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 39,8 ug/m³ el día 25 de diciembre del 2023.

Gráfico 88

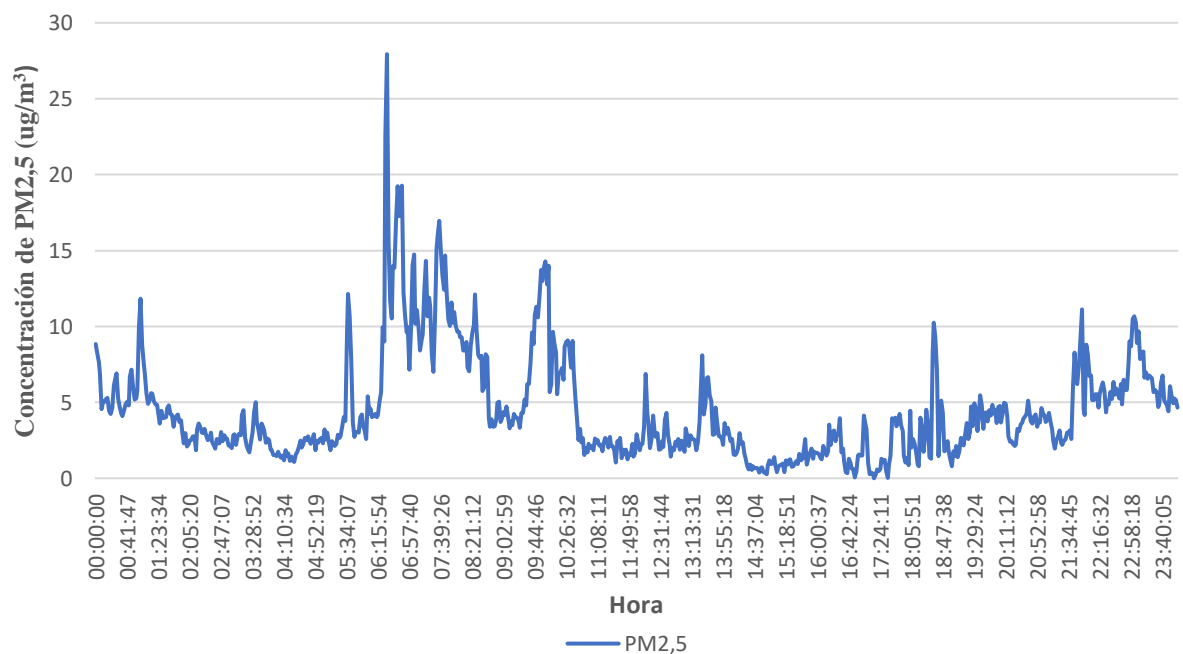
Concentración de PM10 (ug/m³) del 25 de diciembre del 2023



En el gráfico 88 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 47,02 ug/m³ el día 25 de diciembre del 2023.

Gráfico 89

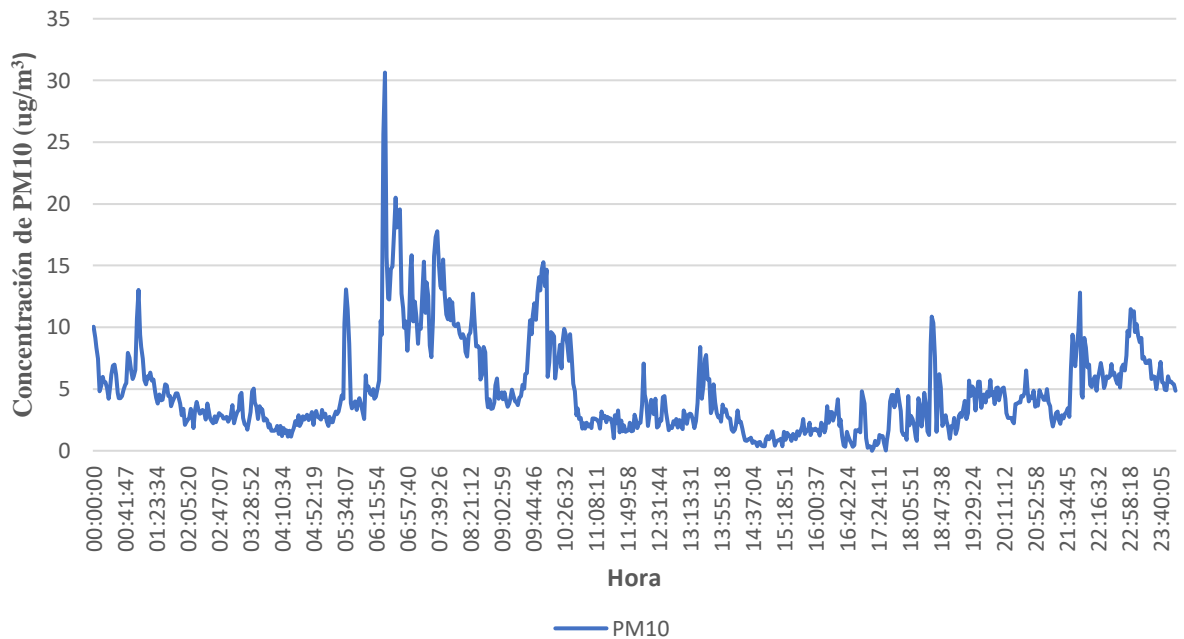
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 26 de diciembre del 2023



En el gráfico 89 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 27,93 ug/m³ el día 26 de diciembre del 2023.

Gráfico 90

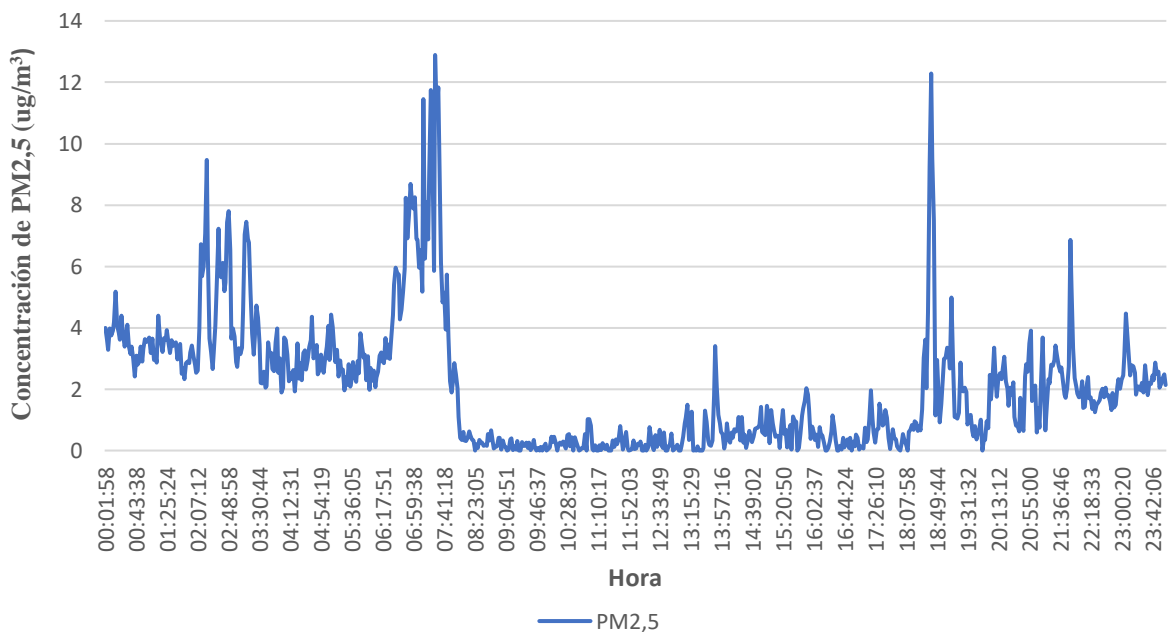
Concentración de PM10(ug/m³) del 26 de diciembre del 2023



En el grafico 90 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 30,64 ug/m³ el día 26 de diciembre del 2023.

Gráfico 91

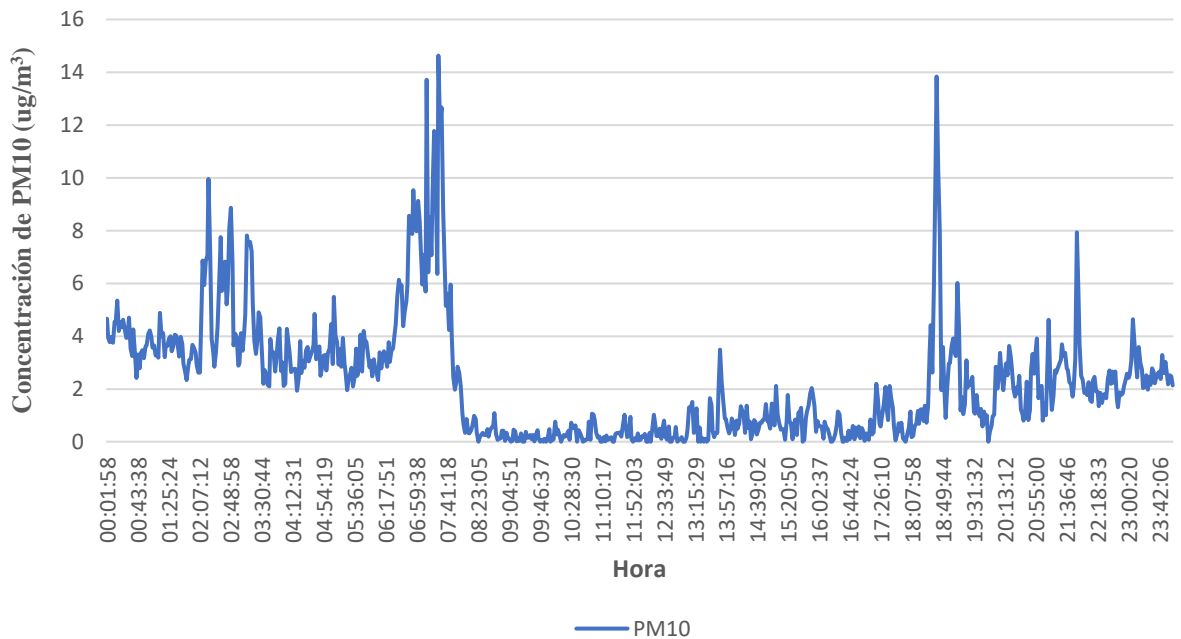
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 27 de diciembre del 2023



En el gráfico 91 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 12,89 ug/m³ el día 27 de diciembre del 2023.

Gráfico 92

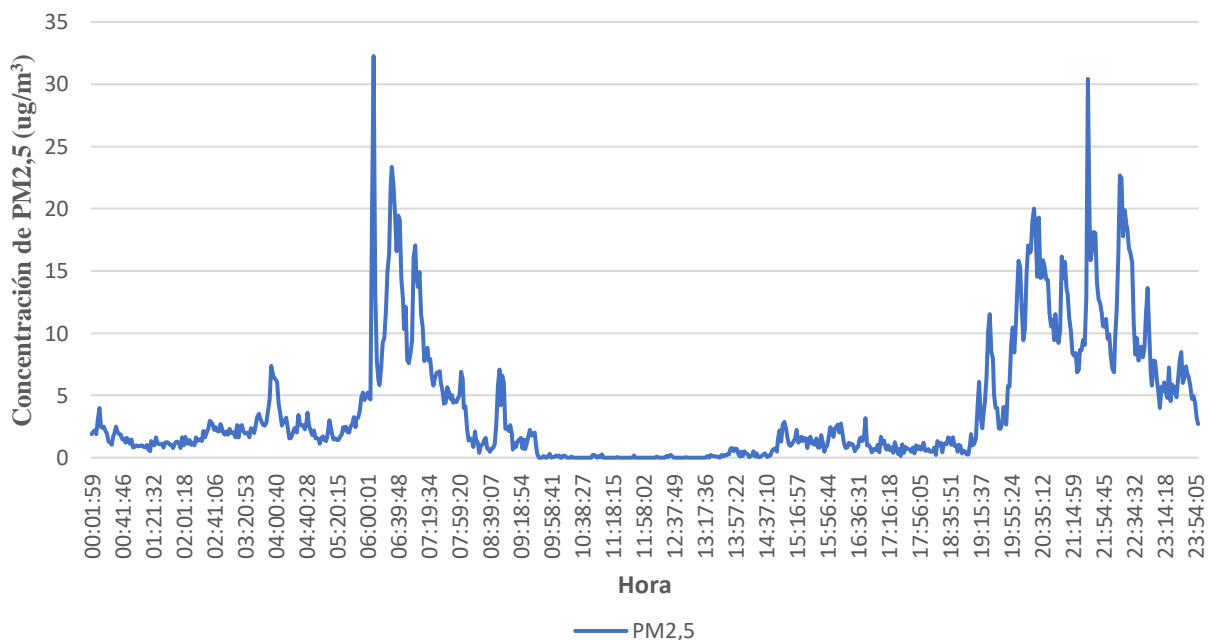
Concentración de PM10 (ug/m³) del 27 de diciembre del 2023



En el gráfico 92 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 14,63 ug/m³ el día 27 de diciembre del 2023.

Gráfico 93

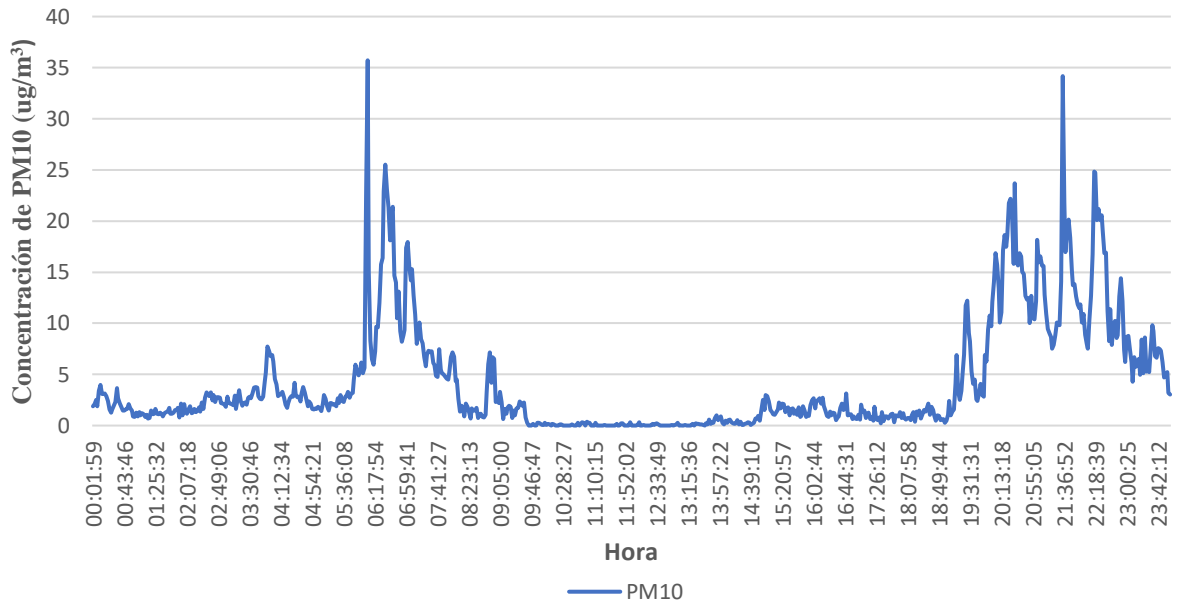
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 28 de diciembre del 2023



En el gráfico 93 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 32,26 ug/m³ el día 28 de diciembre del 2023.

Gráfico 94

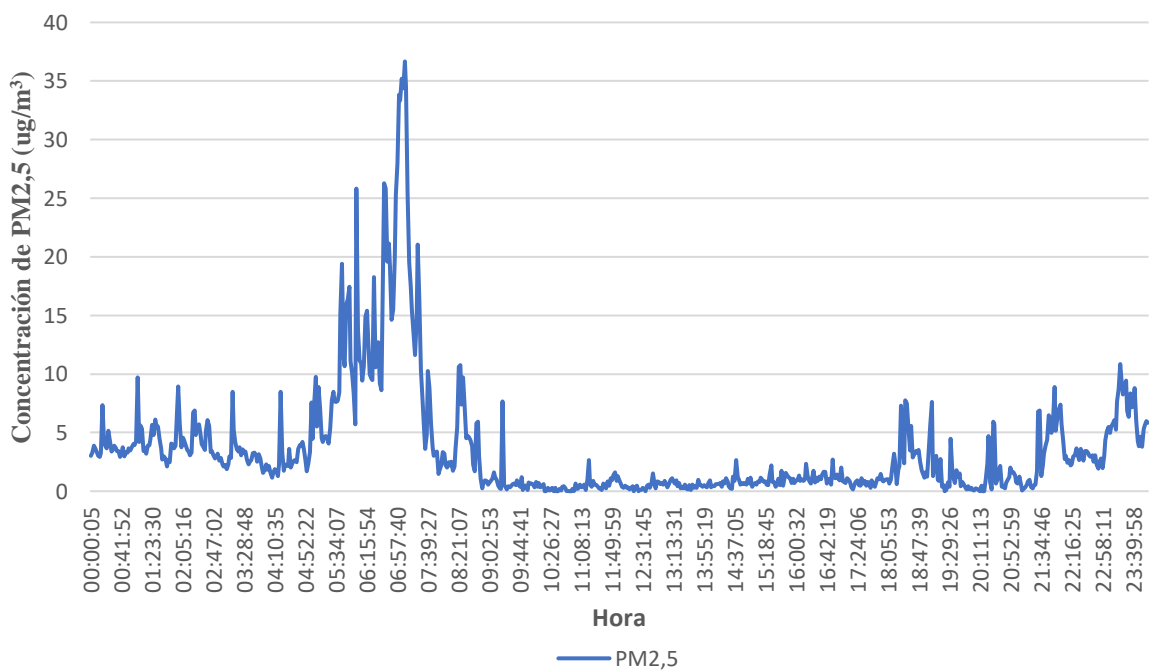
Concentración de PM10(ug/m³) del 28 de diciembre del 2023



En el gráfico 94 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 35,72 ug/m³ el día 28 de diciembre del 2023.

Gráfico 95

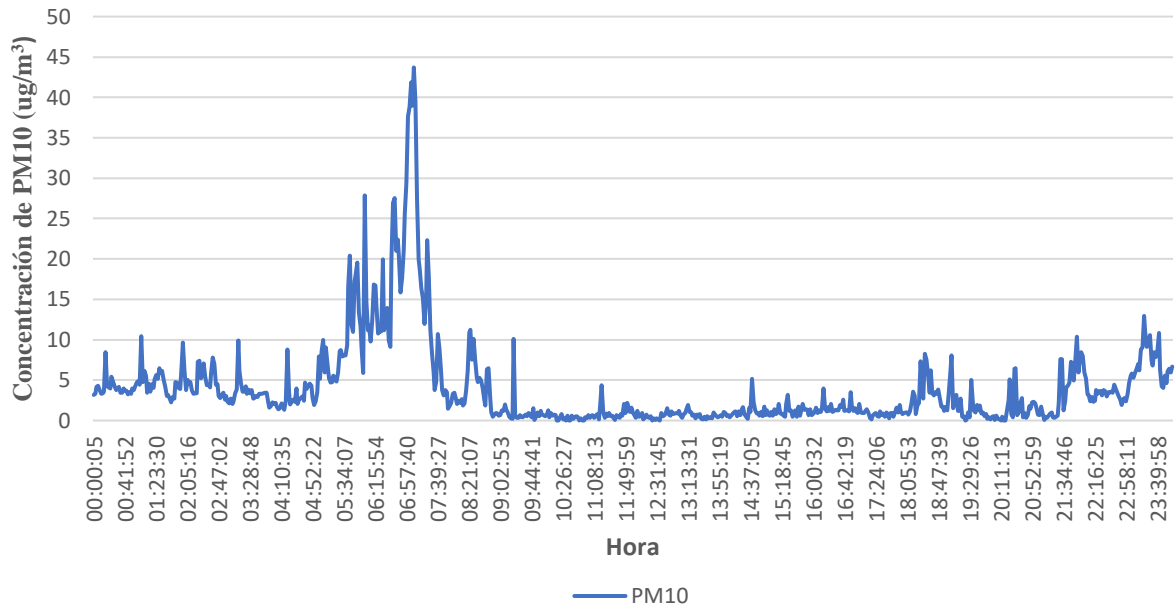
Concentración de PM2,5(ug/m³) del 29 de diciembre del 2023



En el gráfico 95 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 36,67 ug/m³ el día 29 de diciembre del 2023.

Gráfico 96

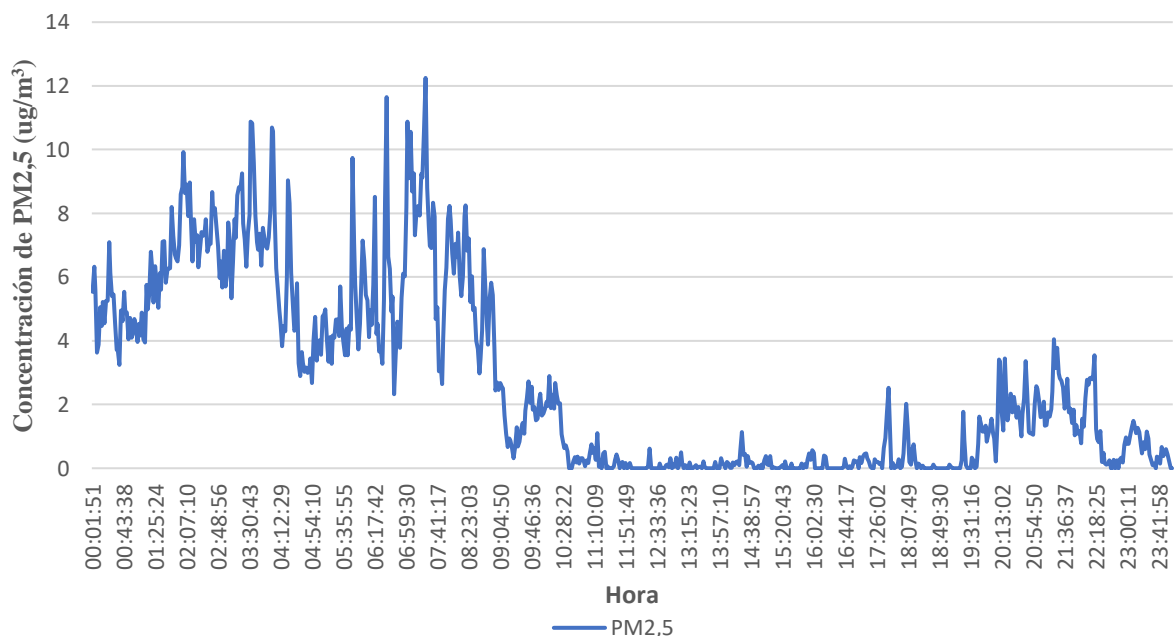
Concentración de PM10 (ug/m³) del 29 de diciembre del 2023



En el gráfico 96 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 43,71 ug/m³ el día 29 de diciembre del 2023.

Gráfico 97

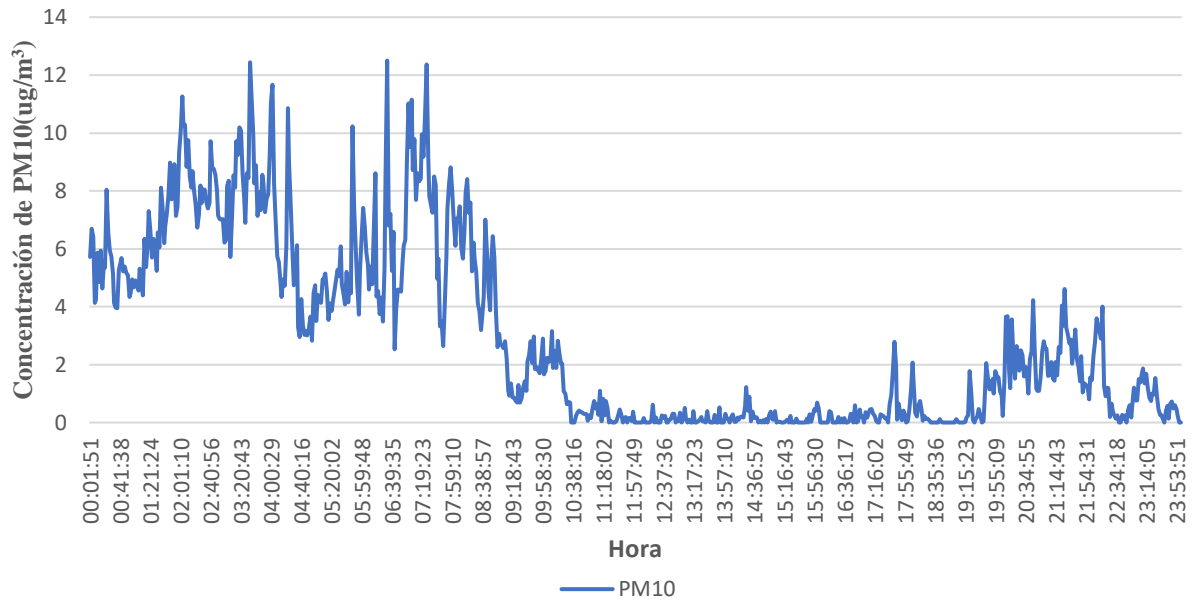
Concentración de PM2,5 (ug/m³) del 30 de diciembre del 2023



En el gráfico 97 se muestra la concentración del PM_{2,5} donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 12,25 ug/m³ el día 30 de diciembre del 2023.

Gráfico 98

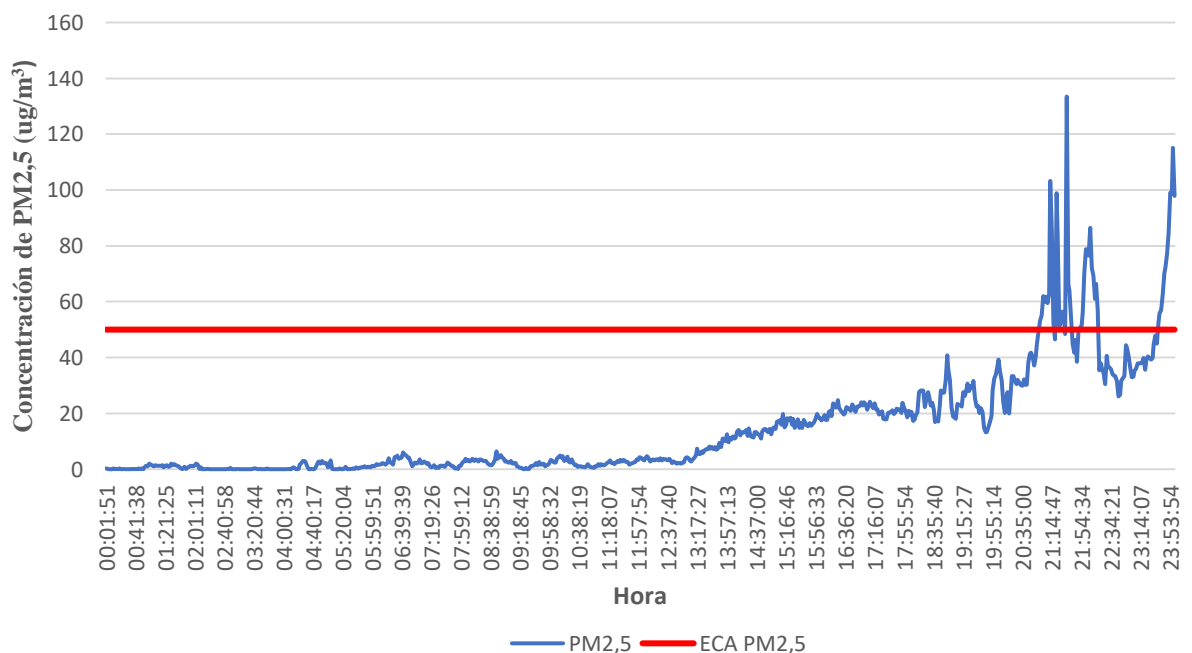
Concentración de PM₁₀ (ug/m³) del 30 de diciembre del 2023



En el gráfico 98 se muestra la concentración del PM₁₀ donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 12,5 ug/m³ el día 30 de diciembre del 2023.

Gráfico 99

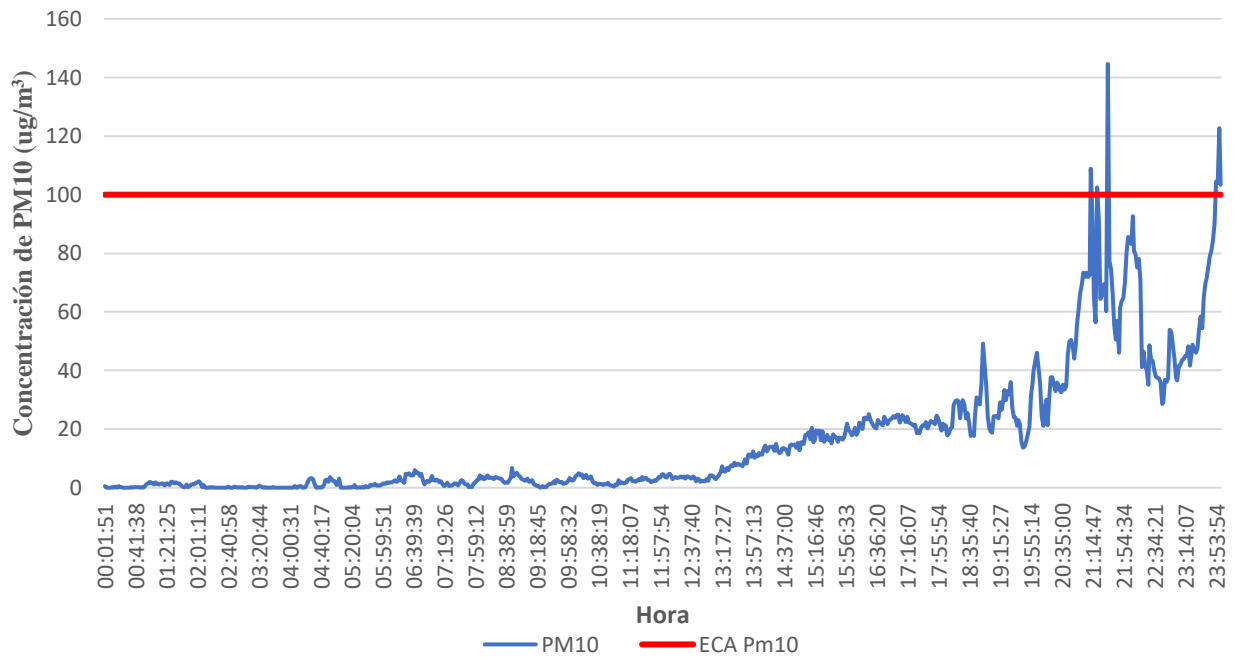
Concentración de PM_{2,5} (ug/m³) del 31 de diciembre del 2023



En el gráfico 99 se muestra la concentración del PM2,5 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 133,47 ug/m³ el día 31 de diciembre del 2023.

Gráfico 100

Concentración de PM10(ug/m³) del 31 de diciembre del 2023



En el gráfico 100 se muestra la concentración del PM10 donde la concentración mínima es 0 ug/m³ y el máximo fue 144,6 ug/m³ el día 31 de diciembre del 2023.

4.5. Resultados estadísticos

Tabla 9

Concentración diaria de PM2,5 (ug/m³) del mes de noviembre y diciembre del 2023

Fecha	Concentración diaria PM2,5 ug/m ³ del mes de noviembre del 2023	Fecha	Concentración diaria PM2,5 ug/m ³ del mes de diciembre del 2023
10/11/2023	2,70	1/12/2023	1,25
11/11/2023	7,36	2/12/2023	8,38
12/11/2023	12,34	3/12/2023	8,23
13/11/2023	12,84	4/12/2023	4,55
17/11/2023	2,38	5/12/2023	8,05
18/11/2023	4,58	6/12/2023	8,21
19/11/2023	4,96	7/12/2023	6,54
20/11/2023	8,87	8/12/2023	5,27

24/11/2023	3,12	9/12/2023	4,41
25/11/2023	3,81	10/12/2023	2,93
26/11/2023	2,17	11/12/2023	2,64
27/11/2023	1,50	12/12/2023	2,90
28/11/2023	4,31	13/12/2023	3,68
29/11/2023	6,99	14/12/2023	4,67
30/11/2023	3,48	15/12/2023	5,96
		16/12/2023	4,94
		17/12/2023	6,22
		18/12/2023	7,47
		19/12/2023	8,19
		20/12/2023	8,15
		21/12/2023	9,63
		22/12/2023	11,89
		23/12/2023	9,04
		24/12/2023	3,61
		25/12/2023	5,58
		26/12/2023	4,45
		27/12/2023	2,06
		28/12/2023	3,84
		29/12/2023	3,56
		30/12/2023	2,67
		31/12/2023	14,29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Prueba F para varianzas de dos muestras de PM2,5

	<i>PM2,5 noviembre</i>	<i>PM2,5 diciembre</i>
Media	5,42637981	6,590223767
Varianza	12,67864174	23,42291343
Observaciones	15	32
Grados de libertad	14	31
F	0,54129226	
P(F<=f) una cola	0,111731551	
Valor crítico para F (una cola)	0,434237528	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se muestra la prueba de F con la finalidad de poder saber si la varianza es iguales o desiguales, donde se puede decir que la varianza es igual ya que el resultado de la prueba F es 0,111731551 la cual es mayor a 0,05.

Tabla 11*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	<i>PM2,5 noviembre</i>	<i>PM2,5 diciembre</i>
Media	5,42637981	6,590223767
Varianza	12,67864174	23,42291343
Observaciones	15	32
Varianza agrupada	20,08025112	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	45	
Estadístico t	-0,83000723	
P(T<=t) una cola	0,205458227	
Valor crítico de t (una cola)	1,679427393	
P(T<=t) dos colas	0,410916454	
Valor crítico de t (dos colas)	2,014103389	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se muestra la prueba t, donde se muestra que no hay variación entre el mes de noviembre y diciembre por lo cual la variación en ambos meses es igual.

Tabla 12*Concentración diaria de PM10 (ug/m³) del mes de noviembre y diciembre del 2023*

Fecha	Concentración diaria PM10 ug/m³ del mes de noviembre del 2023	Fecha	Concentración diaria PM10 ug/m³ del mes de diciembre del 2023
10/11/2023	2,99	1/12/2023	1,39
11/11/2023	7,98	2/12/2023	9,21
12/11/2023	13,60	3/12/2023	8,85
13/11/2023	14,38	4/12/2023	4,90
17/11/2023	2,63	5/12/2023	8,71
18/11/2023	4,99	6/12/2023	8,92
19/11/2023	5,29	7/12/2023	7,04
20/11/2023	9,44	8/12/2023	5,89
24/11/2023	3,36	9/12/2023	4,69
25/11/2023	4,12	10/12/2023	3,13
26/11/2023	2,34	11/12/2023	2,86
27/11/2023	1,62	12/12/2023	3,10
28/11/2023	4,77	13/12/2023	3,99
29/11/2023	7,66	14/12/2023	5,02
30/11/2023	3,75	15/12/2023	6,37
		16/12/2023	5,25

17/12/2023	6,67
18/12/2023	8,01
19/12/2023	8,83
20/12/2023	8,86
21/12/2023	10,47
22/12/2023	12,84
23/12/2023	9,84
24/12/2023	3,87
25/12/2023	6,02
26/12/2023	4,78
27/12/2023	2,27
28/12/2023	4,22
29/12/2023	3,96
30/12/2023	2,91
31/12/2023	15,90
1/01/2024	31,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Prueba F para varianzas de dos muestras de PM10

	<i>PM10 noviembre</i>	<i>PM10 diciembre</i>
Media	5,927169925	7,192428132
Varianza	15,56477361	29,95172916
Observaciones	15	32
Grados de libertad	14	31
F	0,519661937	
P(F<=f) una cola	0,097187923	
Valor crítico para F (una cola)	0,434237528	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se muestra la prueba de F con la finalidad de poder saber si la varianza es iguales o desiguales, donde se puede decir que la varianza es igual ya que el resultado de la prueba F es 0,097187923 la cual es mayor que 0,05.

Tabla 14

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>PM10 noviembre</i>	<i>Pm10 diciembre</i>
Media	5,927169925	7,192428132
Varianza	15,56477361	29,95172916
Observaciones	15	32
Varianza agrupada	25,47578744	

Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	45
Estadístico t	-0,801100577
P(T<=t) una cola	0,213641573
Valor crítico de t (una cola)	1,679427393
P(T<=t) dos colas	0,427283146
Valor crítico de t (dos colas)	2,014103389

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se muestra la prueba de t, donde se muestra que no hay variación entre el mes de noviembre y diciembre por lo cual la variación entre ambos meses es igual.

V. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación que se desarrolló en el distrito Ahuaycha, provincia Tayacaja, región Huancavelica; los días críticos fueron el 12, 13 y 28 de noviembre; 2, 4, 7, 8, 14, 15, 17, 20, 21 y 22 de diciembre del año 2023, por ende las concentraciones registradas de material particulado moda fina (PM_{2,5}) en un solo punto de monitoreo, fueron: (119,34; 53,38; 51,65; 73,59; 55,79; 58,05; 53,38; 72,22; 72,22; 55,11; 50,17; 72,12; 89,85) ug/m³ los cuales fueron significativos para determinar los índices de concentración más altos, esto debido a la presencia del parque automotor que genera concentraciones máximas de masa de material particulado moda fina (PM_{2,5}); estas concentraciones se observaron en diferentes turnos mañana (entre las 6:30 a 7:40), tarde (17:50 a 18:00) y noche (18:00 a 12:20). Según Barnes y Connor (2014), mencionan que en superficies que no son impermeables o donde no exista fijación de partículas finas entre sí, provocan que se forme polvo como resultado de esfuerzos cortantes entre los neumáticos del vehículo y el agregado, rotura de agregados en partículas más pequeñas cuando los vehículos circulan sobre ellos, arrastre del polvo fijadas a los neumáticos de los automóviles en otros lugares de sus recorridos, partículas finas previamente depositadas como material propio de la conformación del camino y otras procedentes de campos agrícolas o terrenos cercanos a la carretera.

El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado moda fina (PM_{2,5}) en el distrito Ahuaycha- Tayacaja- Huancavelica 2023; la concentración de material particulado de moda fina (PM_{2,5}) con relación al ECA, los días críticos fueron 12, 13 y 28 de noviembre; 2, 4, 7, 8, 14, 15, 17, 20, 21, 22 y 31 de diciembre donde las mayores concentraciones se dieron en horarios de la mañana (entre las 6:30 a 7:40), tarde

(17:50 a 18:00) y turno noche (18:00 a 12:20), las concentraciones registradas fueron (119,34; 53,38; 51,65; 73,59; 55,79; 58,05; 53,38; 72,22; 72,22; 55,11; 50,17; 72,12; 89,85 y 133,47) ug/m^3 , por ende se concluye que el índice de concentración de material particulado de moda fina supera los valores máximos según los Estándares de Calidad de Aire ($50 \text{ ug}/\text{m}^3$). Estos resultados guardan relación con Champi (2023), en su trabajo de investigación “Evaluación de material particulado PM10 y PM2,5 mediante imágenes satelitales LANDSAT para una propuesta de un plan de minimización Lima, 2022” donde la concentración de material particulado PM2,5 presenta mayor concentración en el horario de 10 am a 12 pm fluctuando entre $59,289 \text{ ug}/\text{m}^3$ hasta los $82,224 \text{ ug}/\text{m}^3$ siendo estas horas las más críticas y sobrepasando el valor máximo permitido según ECA Aire ($50 \text{ ug}/\text{m}^3$).

El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado moda gruesa (PM10) en el distrito de Ahuaycha- Tayacaja- Huancavelica 2023, la concentración de material particulado moda gruesa (PM10) con relación al ECA, los días más críticos fueron 12 y 22 de noviembre; 31 de diciembre donde las mayores concentraciones se dieron en horarios de mañana (entre las 6:30 a 7:40) y turno noche (19:30 a 12:00); las concentraciones registradas fueron (127,57; 105,56 y 133,47) ug/m^3 , por ultimo concluimos que el índice de concentración de material particulado de moda gruesa supera los valores máximos según los Estándares de Calidad del Aire ($100 \text{ ug}/\text{m}^3$). Estos resultados guardan relación con la tesis de Francisco (2021), ante la problemática de la contaminación en Arequipa, en el ovalo San Lázaro ubicado en el cercado esta ciudad, se realizo un estudio para la caracterización el material particulado PM10 y PM2,5 y así evaluar la calidad del aire atmosférico que respira la población del Ovalo San Lázaro; para poder caracterizar el material particulado se realizó un monitoreo ambiental en la estación CA-1 ubicada en la Calle Santa Catalina 509, cerca de la Plaza San Lázaro, dicho monitoreo tuvo una duración de 24 horas y los resultados obtenidos después del monitoreo para el material particulado PM10 fue de $145 \text{ ug}/\text{m}^3$ lo cual evidencia que el PM10 excede con los Estándares de Calidad Ambiental según el D.S. 003-2017 y además se encontró que la dirección del viento y la época del año influyen en los resultados.

Respecto al día 31 de diciembre del 2023, podemos mencionar que los valores de los índices de concentración de material particulado de PM2,5 y PM10 fueron de $133,47$ y $144,6 \text{ ug}/\text{m}^3$ durante las horas de 21:10 a 12:00 de la noche se emitieron altas concentraciones de material particulado esto se debe a la presencia de fuegos artificiales y quema de titeres. Estos resultados guardan mucha relación con el artículo Parra et al. (2022), las partículas finas

(PM_{2,5}) son peligrosas para la salud humana. A medianoche del 31 de diciembre, en las ciudades ecuatorianas, la gente quema títeres y fuegos artificiales, emitiendo altas cantidades de PM_{2,5} donde el 1 de enero de 2022, concentraciones entre 27,3 y 40,6 $\mu\text{g m}^{-3}$ (media máxima en 24 h) fueron medido en Cuenca, ciudad andina ubicada al sur de Ecuador; estos son superiores a 15 $\mu\text{g m}^{-3}$, las directrices actuales de la Organización Mundial de la Salud. Asumiendo que estas emisiones comenzaron a las 18:00 LT o 21:00 LT el 31 de diciembre de 2021. Donde avanzando el tiempo de combustión puede ayudar a reducir los efectos sobre la salud de las emisiones de PM_{2,5} el 31 de diciembre.

VI. CONCLUSIONES

- El índice de calidad del aire de material particulado de moda fina (PM_{2,5}) para el turno de mañana es moderado (40,43%), para el turno de tarde es bueno (62,22%) y para el turno de noche es malo (55,56%). Esto indica que es perjudicial para la salud de las personas, ya que con el paso del tiempo puede causar distintos tipos de enfermedades al estar expuestas a esta calidad de aire.
- El índice de calidad del aire de material particulado de moda gruesa (PM₁₀) para los turnos de mañana, tarde y noche es bueno. Por ello, podemos mencionar que el entorno es saludable y no causa daños en la salud de las personas al estar expuestas con el paso del tiempo.
- Respecto a la comparación diaria del material particulado PM_{2,5} y PM₁₀ con el ECA, podemos concluir que la concentración máxima fue de 14,29 y 15,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Estos valores no sobrepasan los estándares de calidad ambiental tanto del PM_{2,5} como del PM₁₀, por lo que no son perjudiciales para la salud de las personas.
- Podemos concluir que la variabilidad temporal para el material particulado PM_{2,5} y PM₁₀ ha presentado índices muy altos en varios días. Los días críticos fueron el 12, 13 y 28 de noviembre; 2, 4, 7, 8, 14, 15, 17, 20, 21, 22 y 31 de diciembre. Para PM_{2,5} las concentraciones registradas fueron (119,34; 53,38; 51,65; 73,59; 55,79; 58,05; 53,38; 72,22; 72,22; 55,11; 50,17; 72,12; 89,85; 133,47 y 224,5), mientras que para PM₁₀ las concentraciones registradas el 12 y 22 de noviembre y el 31 de diciembre fueron (127,57; 105,56 y 133,3). Estas concentraciones elevadas se observaron en diferentes turnos: mañana (entre las 6:30 y 7:40), tarde (17:50 a 18:00) y noche (18:00 a 12:20). Es importante destacar, (ver tabla 2) los efectos en la salud humana por exhibición a material particulado PM_{2,5} y PM₁₀ propuesta por Ballester et al. (1999), señala que si

estos valores sobrepasan los estándares de calidad establecidos son considerados muy dañinos para el bienestar de las personas expuestas durante estos horarios.

VII. RECOMENDACIONES

- Desarrollar e implementar estrategias de gestión de la calidad de aire para minimizar, reducir y mitigar las emisiones de concentraciones de material particulado de moda fina y gruesa, con el propósito de mejorar el bienestar público y conservar el ambiente.
- Impulsar la adopción de tecnologías limpias y sostenibles, incluyendo energías renovables como la solar y la eólica, los vehículos eléctricos, medidas de eficiencia energética y prácticas de reciclaje avanzadas, con el propósito primordial de minimizar la emisión de material particulado a la atmosfera y, consecuentemente, disminuir los riesgos para el bienestar de las personas y seres vivos.
- Promover una reevaluación y adaptación de las actividades tradicionales y celebraciones populares, como las fiestas navideñas, bajada de reyes y las celebraciones de año nuevo, con el objetivo de minimizar su impacto ambiental y reducir la emisión de contaminantes atmosféricos, sin comprometer el valor cultural y social de estas festividades.
- Implementar un programa de investigación estacional sobre la concentración del aire a nivel local, enfocado en las estaciones de verano, otoño y primavera, con el objetivo de generar datos precisos y actualizados que nos servirán para realizar comparaciones entre concentraciones de las 4 estaciones y saber la calidad de aire que tiene para después hacer comparaciones con el ECA si sobrepasan o se encuentran dentro de los límites máximos, y después dependiendo a los resultados se pueda desarrollar estrategias de mitigación adaptadas a las condiciones locales.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Saadi, J., Szykman, J., Pierce, R. B., Kittaka, C., Neil, D., Chu, D. A., Remer, L., Gumley, L., Prins, E., Weinstock, L., MacDonald, C., Wayland, R., Dimmick, F., & Fishman, J. (2005). Improving national air quality forecasts with satellite aerosol observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(9). <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-9-1249>
- Asghar, K., Ali, A., Tabassum, A., Nadeem, S. G., Hakim, S. T., Amin, M., Raza, G., Bashir, S., Afshan, N., Usman, N., Aurangzeb, N., Naz, A., & Hussain, M. (2024). Assessment of particulate matter (PM) in ambient air of different settings and its associated health risk in Haripur city, Pakistan. *Brazilian Journal of Biology*, 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256190>
- Ballester Díez, F., Tenías, J. M., & Pérez-Hoyos, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2). <https://doi.org/10.1590/s1135-57271999000200002>
- Barnes, D., & Connor, B. (2014). *Managing Dust on Unpaved Roads and Airports*.
- Barrientos Paytan, A., & Espinoza Ancalle, L. Y. (2021). *Evaluación de la calidad del aire por la emisión de material particulado en la construcción de pistas Y veredas del jirón Odonovan – Huancavelica, 2021*. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ad01a429-0302-4866-b039-4cba01645895/content>
- Boldo, E., & Querol, X. (2014). Nuevas políticas europeas de control de la calidad del aire: ¿un paso adelante para la mejora de la salud pública? *Gaceta Sanitaria*, 28(4). <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.04.003>
- Campos-Bravo, V. P., Díaz-Robles, L. A., González, I., Vallejo, F., Cereceda-Balic, F., Fadic, X., & Bolaño, T. (2023). Analysis of tropospheric ozone levels in Chile and its possible origin. *Proceedings of the Air and Waste Management Association's Annual Conference and Exhibition, AWMA, 2023-June*.
- Carson, R. L. (2010). Primavera Silenciosa. In *Revista UniABC*.
- Champi Castro, L. M. (2023). *Evaluación de material particulado PM10 y PM2.5 mediante imágenes satelitales LANDSAT para una propuesta de un plan de minimización Lima, 2022*.
- Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. (2017). *7 NORMAS LEGALES Miércoles 7 de junio de 2017*.
- Dimitriou, K., Stavroulas, I., Grivas, G., Chatzidiakos, C., Kosmopoulos, G., Kazantzidis, A., Kourtidis, K., Karagioras, A., Hatzianastassiou, N., Pandis, S., Mihalopoulos, N., & Gerasopoulos, E. (2023). Intra- and inter-city variability of PM2.5 concentrations in Greece as determined with a low-cost sensor network. *Atmospheric Environment*, 301. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119713>
- EPA. (2023). Managing Air Quality - Air Quality Modeling. *Air Quality Management Process Assessment and Implementation*.

- Francisco Vicuña, J. F. (2021). *Caracterización del Material Particulado para la Evaluación de la Calidad del Aire en el Ovalo San Lázaro - Arequipa*.
- Hernández Fernández, B. (2006). *Metodología de la Investigación*. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lcp/texson_a_gg/capitulo4.pdf
- Jornet, J. M. (2014). Prueba “t” de Student. *Universidad de Valencia: Grupo de Innovación Educativa*.
- Lizarraga-Isla, I. J., Pomalaya-Valdez, J. E., Suarez-Salas, L. F., & Bendezu-Roca, Y. (2019). Dispersion of particulate material 2.5 emitted by roasted chicken restaurants using the aermod model in huancayo metropolitan, peru. *DYNA (Colombia)*, 86(211), 346–353. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n211.78812>
- Lopes, D., Ferreira, J., Rafael, S., Hoi, K. I., Li, X., Liu, Y., Yuen, K. V., Mok, K. M., & Miranda, A. I. (2024). High-resolution multi-scale air pollution system: Evaluation of modelling performance and emission control strategies. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.02.046>
- Lozano Hernández, C. J., Daza Guerra, O. R., Clavijo Cevallos, M. P., & Mantilla Parra, C. (2018). DETERMINACIÓN DE LOS CONTAMINANTES MEDIANTE LA OPACIDAD, PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN POR FUENTES MÓVILES A DIÉSEL EN EL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI. *Ciencia Digital*, 2(4.2.), 29–50. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.2..200>
- MINAM, M. del A. (2019). Protocolo Nacional De Monitoreo De La Calidad Ambiental Del Aire. In *Ministerio del Ambiente - Perú*.
- Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile. (2016). Guía de calidad del aire y educación ambiental. *Ministerio Del Medio Ambiente*.
- OMS. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. *Organización Mundial de La Salud*.
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire*. Organización Mundial de La Salud.
- Orozco, C., Pérez, A., Gónzales, M., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2011). Contaminacion Ambiental: Una visión desde la química. In *Thomson Editores Spain*.
- Parra, R., Saud, C., & Espinoza, C. (2022). Simulating PM2.5 Concentrations during New Year in Cuenca, Ecuador: Effects of Advancing the Time of Burning Activities. *Toxics*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/toxics10050264>
- Pippal, P. S., Kumar, R., Kumar, R., & Singh, A. (2024). Integrating satellite and model data to explore spatial-temporal changes in aerosol optical properties and their meteorological relationships in northwest India. *Science of the Total Environment*, 922. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170835>
- Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM. (2016). Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM. Índice de calidad del aire. *MINAM*.

- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5(1).
- Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., & Noone, K. (1998). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. *Physics Today*, 51(10). <https://doi.org/10.1063/1.882420>
- Shehzad, M., Younis, A., Asif, M., & Hameed, M. (2023). Prospects of green roof technology as a sustainable solution to urban pollution index. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14(August), 100751. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100751>
- Tarazona Rincón, P. A., & Fonseca, J. (2022). Evaluación de la calidad de aire por emisiones de material particulado (PM 10) en la vereda mochuelo-alto Bogotá D.C. *Facultad de Ingeniería*.
- USEPA. (2001). Guidance for Preparing Standard Operating Procedures. *Epa/240/B-01/004, EPA QA/G-6*.
- Vega Aragón, R. (2010). El cambio climático y su repercusión en las zoonosis. *Academia Colombiana de Ciencias Veterinarias*, 2(1).
- Wang, Y., Liang, L., Xu, W., Liu, C., Cheng, H., Liu, Y., Zhang, G., Xu, X., Yu, D., Wang, P., Song, Q., Liu, J., & Cheng, Y. (2024). Influence of meteorological factors on open biomass burning at a background site in Northeast China. In *Journal of Environmental Sciences (China)* (Vol. 138). <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.02.043>
- Zhang, X., Jiang, X., & Li, Y. (2023). Prediction of air quality index based on the SSA-BiLSTM-LightGBM model. *Scientific Reports*, 13(1), 5550. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32775-2>

IX. ANEXOS

9.1. Matriz de consistencia

Tabla A 1

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>General:</p> <p>a. ¿Cuál es la calidad del aire por material particulado en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023?</p>	<p>General:</p> <p>a. Evaluar la calidad del aire por material particulado en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023.</p>	<p>General</p> <p>a. La calidad del aire por material particulado en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023, es moderada.</p>	<p>Variable 1: Material particulado.</p> <p>Dimensiones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Material particulado con diámetro menor a 2.5um 2. Material particulado con diámetro menor 10 um y mayor a 2.5um <p>Variable 2: Calidad de aire.</p> <p>Dimensiones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Índice de calidad de aire según el método INCA para PM2,5 2. Índice de calidad de aire según el método de INCA para PM10. 	<p>Tipo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicada <p>Nivel de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptivo <p>Método de investigación:</p> <p>El método es inductivo</p> <p>Diseño:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño descriptivo longitudinal <p>Población y muestras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Población: Material particulado PM2,5 y PM10. • Muestra: Aplicar la fórmula para la
<p>Específicos:</p> <p>a. ¿Cuál es la calidad del aire por material particulado de moda fina en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023?</p> <p>b. ¿Cuál es la calidad del aire de material particulado de moda gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023?</p>	<p>Específicos:</p> <p>a. Estimar la calidad del aire por material particulado de moda fina en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023.</p> <p>b. Estimar la calidad del aire por material particulado de moda gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023.</p>	<p>Específicos:</p> <p>a. La calidad del aire por material particulado de moda fina en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023, es moderada en relación a los umbrales INCA para moda fina.</p> <p>b. La calidad del aire por material particulado de moda gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023, es moderada en</p>		

-
- | | | | |
|--|--|---|---|
| <p>c. ¿Cuál es la comparación de la concentración diaria de material particulado de moda fina y gruesa con los estándares de calidad ambiental establecido por el Ministerio del Ambiente?</p> | <p>c. Comparar la concentración diaria de material particulado de moda fina y gruesa con los estándares de calidad ambiental establecido por el Ministerio del Ambiente.</p> | <p>relación a los umbrales INCA para moda gruesa.</p> | <p>obtención de n (muestra).</p> |
| <p>d. ¿Cuál es la variabilidad temporal material particulado de moda fina y gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023?</p> | <p>d. Determinar la variabilidad temporal material particulado de moda fina y gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023.</p> | <p>c. La concentración diaria de material particulado de moda fina y gruesa con los estándares de calidad ambiental establecido por el Ministerio del Ambiente, superan los estándares de calidad ambiental.</p> <p>d. La variabilidad temporal material particulado de moda fina y gruesa en la zona rural de Ahuaycha - Tayacaja, durante el año 2023, supera los estándares de la calidad ambiental.</p> | <p>Técnicas e instrumentos:</p> <p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colector de material particulado, durante noviembre a diciembre del 2023. <p>Instrumentos/herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Microsoft Excel y la formula INCA. • Colector de material particulado. <p>Técnica de procesamiento de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • T de Student para muestras dependientes. |
-

9.2. Índice de calidad de aire de material particulado PM2,5 ug/m³

Tabla A 2

Concentración de diaria de PM2,5 ug/m³

FECHA	Índice de la calidad del aire de PM2,5 ug/m ³ turno mañana	Índice de la calidad del aire de PM2,5 ug/m ³ turno tarde	Índice de la calidad del aire de PM2,5 ug/m ³ turno noche
10/11/2023	2,08	6,49	22,06
11/11/2023	20,29	7,28	82,90
12/11/2023	56,86	12,06	83,49
13/11/2023	51,35		
17/11/2023	27,58	29,06	17,10
18/11/2023	16,95	12,19	30,21
19/11/2023	19,58	4,52	41,87
20/11/2023	35,47		
24/11/2023	16,00	7,86	16,77
25/11/2023	8,03	3,14	49,35
26/11/2023	15,84	0,17	3,32
27/11/2023	10,18	1,98	1,58
28/11/2023	21,60	6,45	14,68
29/11/2023	40,74	24,93	1,60
30/11/2023	15,11	13,81	11,59
1/12/2023	4,17	4,24	8,01
2/12/2023	14,69	23,27	93,10
3/12/2023	47,07	17,03	21,12
4/12/2023	17,13	16,98	22,44
5/12/2023	26,87	7,64	77,63
6/12/2023	35,42	12,79	67,56
7/12/2023	24,64	8,88	53,90
8/12/2023	13,72	18,53	42,36
9/12/2023	19,74	5,76	29,28
10/12/2023	17,35	2,47	10,80
11/12/2023	4,70	14,45	19,25
12/12/2023	9,97	13,98	12,09
13/12/2023	6,98	2,18	50,89
14/12/2023	15,64	3,93	46,56
15/12/2023	25,23	5,22	46,56
16/12/2023	25,23	5,22	27,03
17/12/2023	28,39	1,79	41,78
18/12/2023	25,98	14,90	60,11
19/12/2023	35,46	23,33	30,58
20/12/2023	25,06	24,09	62,37

21/12/2023	38,35	17,79	67,90
22/12/2023	46,95	19,26	87,98
23/12/2023	43,61	11,91	52,20
24/12/2023	22,83	2,77	10,61
25/12/2023	24,26	9,19	36,25
26/12/2023	22,27	8,96	19,45
27/12/2023	11,11	3,26	8,25
28/12/2023	12,58	2,93	39,54
29/12/2023	20,85	4,27	12,35
30/12/2023	18,99	0,64	4,85
31/12/2023	5,57	60,71	175,92

9.3. Índice de calidad de aire de material particulado PM10 ug/m³

Tabla A 3

Índice de calidad de aire de PM10 ug/m³

FECHA	Índice de la calidad del aire de PM10 ug/m ³ turno mañana	Índice de la calidad del aire de PM10 ug/m ³ turno tarde	Índice de la calidad del aire de PM10 ug/m ³ turno noche
10/11/2023	0,40	1,22	4,03
11/11/2023	2,68	1,35	14,88
12/11/2023	10,36	2,19	15,55
13/11/2023	9,59		
17/11/2023	1,00	1,11	3,09
18/11/2023	3,03	2,25	5,53
19/11/2023	3,47	0,84	7,41
20/11/2023	6,29		
24/11/2023	2,80	1,42	3,04
25/11/2023	1,45	0,58	8,90
26/11/2023	2,82	0,06	0,64
27/11/2023	1,82	0,38	0,32
28/11/2023	4,00	1,21	2,63
29/11/2023	7,56	4,34	0,32
30/11/2023	2,70	2,49	2,10
1/12/2023	0,77	0,80	1,48
2/12/2023	2,62	4,16	17,34
3/12/2023	8,43	3,07	3,77
4/12/2023	3,10	3,01	4,01
5/12/2023	4,77	1,36	14,21
6/12/2023	6,47	2,26	12,14
7/12/2023	4,37	1,60	9,79
8/12/2023	2,45	3,60	7,92
9/12/2023	3,49	1,03	5,17

10/12/2023	3,05	0,51	1,93
11/12/2023	0,87	2,60	3,43
12/12/2023	1,80	2,46	2,17
13/12/2023	1,25	0,41	9,17
14/12/2023	2,78	0,71	8,38
15/12/2023	4,45	0,94	8,38
16/12/2023	4,45	0,94	4,82
17/12/2023	5,05	1,19	7,54
18/12/2023	4,61	2,64	10,85
19/12/2023	6,38	4,19	5,44
20/12/2023	4,55	4,28	11,42
21/12/2023	6,99	3,11	12,36
22/12/2023	8,45	3,35	16,00
23/12/2023	7,97	2,10	9,40
24/12/2023	4,07	0,51	1,90
25/12/2023	4,36	1,66	6,51
26/12/2023	3,97	1,62	3,51
27/12/2023	2,01	0,64	1,55
28/12/2023	2,30	0,56	7,23
29/12/2023	3,81	0,85	2,32
30/12/2023	3,42	0,13	0,91
31/12/2023	0,99	10,60	33,63

9.4. Comparación de la concentración diaria de material particulado PM2,5 y PM10 (ug/m³) con el ECA

Tabla A 4

Concentración diaria de PM2,5 y PM10 (ug/m³)

Fecha	Concentración diaria de PM2,5 ug/m ³	Concentración diaria de PM10 ug/m ³	Desviación de la concentración diario de PM2,5	Desviación de la concentración diario de PM10	ECA PM2,5 ug/m ³	ECA PM10 ug/m ³
10/11/2023	2,70	2,99	3,77	4,25	50	100
11/11/2023	7,36	7,98	8,57	9,34	50	100
12/11/2023	12,34	13,60	14,66	16,21	50	100
13/11/2023	12,84	14,38	10,41	13,02	50	100
17/11/2023	2,38	2,63	1,82	1,98	50	100
18/11/2023	4,58	4,99	5,17	5,86	50	100
19/11/2023	4,96	5,29	4,31	4,66	50	100
20/11/2023	8,87	9,44	1,82	1,92	50	100
24/11/2023	3,12	3,36	2,11	2,27	50	100
25/11/2023	3,81	4,12	5,34	5,84	50	100
26/11/2023	2,17	2,34	3,87	4,11	50	100
27/11/2023	1,50	1,62	3,65	3,90	50	100
28/11/2023	4,31	4,77	8,40	9,53	50	100
29/11/2023	6,99	7,66	10,28	11,78	50	100
30/11/2023	3,48	3,75	2,65	2,82	50	100
1/12/2023	1,25	1,39	2,41	2,63	50	100

2/12/2023	8,38	9,21	10,23	11,87	50	100
3/12/2023	8,23	8,85	6,31	6,88	50	100
4/12/2023	4,55	4,90	4,89	5,55	50	100
5/12/2023	8,05	8,71	8,31	9,23	50	100
6/12/2023	8,21	8,92	7,86	8,76	50	100
7/12/2023	6,54	7,04	6,66	7,47	50	100
8/12/2023	5,27	5,89	7,82	9,38	50	100
9/12/2023	4,41	4,69	3,63	3,85	50	100
10/12/2023	2,93	3,13	2,83	2,96	50	100
11/12/2023	2,64	2,86	3,38	3,72	50	100
12/12/2023	2,90	3,10	1,76	1,91	50	100
13/12/2023	3,68	3,99	5,72	6,23	50	100
14/12/2023	4,67	5,02	6,05	6,78	50	100
15/12/2023	5,96	6,37	6,68	7,38	50	100
16/12/2023	4,94	5,25	4,60	4,88	50	100
17/12/2023	6,22	6,67	5,58	6,19	50	100
18/12/2023	7,47	8,01	5,55	6,06	50	100
19/12/2023	8,19	8,83	5,20	5,67	50	100
20/12/2023	8,15	8,86	7,47	8,48	50	100
21/12/2023	9,63	10,47	7,60	8,54	50	100
22/12/2023	11,89	12,84	8,23	9,22	50	100
23/12/2023	9,04	9,84	8,72	9,99	50	100
24/12/2023	3,61	3,87	4,47	4,74	50	100

25/12/2023	5,58	6,02	6,54	7,21	50	100
26/12/2023	4,45	4,78	3,51	3,73	50	100
27/12/2023	2,06	2,27	2,11	2,27	50	100
28/12/2023	3,84	4,22	5,09	5,54	50	100
29/12/2023	3,56	3,96	5,08	5,57	50	100
30/12/2023	2,67	2,91	2,93	3,15	50	100
31/12/2023	14,29	15,90	19,58	22,24	50	100

9.5. Concentración diaria de PM2,5 y PM10 (ug/m³)

Tabla A 5

Concentración diaria de material particulado PM2,5 y PM10 (ug/m³)

Fecha	Concentración de PM2,5 ug/m ³ turno mañana	Concentración de PM2,5 ug/m ³ turno tarde	Concentración de PM2,5 ug/m ³ turno noche	Concentración de PM10 ug/m ³ turno mañana	Concentración de PM10 ug/m ³ turno tarde	Concentración de PM10 ug/m ³ turno noche
10/11/2023	0,52	1,62	5,51	0,60	1,83	6,05
11/11/2023	5,07	1,82	20,75	5,52	2,03	22,32
12/11/2023	1,22	3,02	20,87	15,54	3,28	23,33
13/11/2023	12,84			14,38		
17/11/2023	1,38	1,45	4,28	1,51	1,67	4,64
18/11/2023	4,24	3,05	7,55	4,54	3,37	8,30
19/11/2023	4,90	1,13	10,47	5,21	1,25	11,11
20/11/2023	8,87			9,44		
24/11/2023	4,00	1,97	4,19	4,20	2,14	4,55
25/11/2023	2,01	0,78	12,34	2,17	0,87	13,35
26/11/2023	3,96	0,04	0,83	4,23	0,08	0,97

27/11/2023	2,55	0,49	0,39	2,72	0,57	0,48
28/11/2023	5,40	1,61	3,67	6,00	1,82	3,94
29/11/2023	10,18	6,23	0,40	11,34	6,52	0,48
30/11/2023	3,78	3,45	2,90	4,05	3,74	3,15
1/12/2023	1,04	1,06	2,00	1,15	1,20	2,23
2/12/2023	3,67	5,82	23,28	3,93	6,25	26,01
3/12/2023	11,77	4,26	5,28	12,65	4,61	5,65
4/12/2023	4,28	4,25	5,61	4,65	4,51	6,02
5/12/2023	6,72	1,91	19,41	7,15	2,04	21,32
6/12/2023	8,86	3,20	16,89	9,71	3,39	18,22
7/12/2023	6,16	2,22	13,48	6,55	2,41	14,68
8/12/2023	3,43	4,63	10,59	3,67	5,41	11,88
9/12/2023	4,93	1,44	7,32	5,24	1,55	7,76
10/12/2023	4,34	0,62	2,70	4,57	0,76	2,90
11/12/2023	1,18	3,61	4,81	1,31	3,90	5,15
12/12/2023	2,49	3,50	3,02	2,70	3,69	3,25
13/12/2023	1,74	0,54	12,72	1,88	0,62	13,75
14/12/2023	3,91	0,98	11,64	4,18	1,07	12,57
15/12/2023	6,31	1,30	11,64	6,67	1,42	12,57
16/12/2023	6,31	1,30	6,76	6,67	1,42	7,23
17/12/2023	7,10	1,68	10,45	7,58	1,79	11,32
18/12/2023	6,49	3,73	15,03	6,91	3,97	16,28
19/12/2023	8,86	5,83	7,65	9,56	6,29	8,16
20/12/2023	6,27	6,02	15,59	6,83	6,42	17,13
21/12/2023	9,59	4,45	16,97	10,48	4,66	18,54
22/12/2023	1,74	4,82	21,99	12,67	5,03	24,00
23/12/2023	10,90	2,98	13,05	11,96	3,15	14,09

24/12/2023	5,71	0,69	2,65	6,10	0,76	2,85
25/12/2023	6,06	2,30	9,06	6,54	2,49	9,77
26/12/2023	5,57	2,24	4,86	5,95	2,42	5,27
27/12/2023	2,78	0,81	2,06	3,01	0,96	2,32
28/12/2023	3,15	0,73	9,88	3,44	0,83	10,85
29/12/2023	5,21	1,07	3,09	5,71	1,28	3,48
30/12/2023	4,75	0,16	1,21	5,13	0,20	1,36
31/12/2023	1,39	1,18	43,98	1,49	15,91	50,44

9.6. Panel fotográfico

Figura A 1

Sensor de Colector de Material Particulado (Purple Air)



Figura A 2

Instalación del Sensor de Colector de Material Particuladoo



Figura A 3
Recolección de Datos



Figura A 4
Procesamiento de Datos

PM2.5 Y 10 RESULTADOS MODIFICADOS-LIZ - Excel

HORA	PM2.5	PM10	ECA pm2.5	ECApm10	Hora	PM2.5	PM10	Iqa2.5	Iqa10	Promedio Pm2.5	Promedio Pm10
14:01:54	3.89	4.18	50	100	5:00:00	9:01:54	3.89	4.18	15.56	2.786667	0.5211111111
14:03:54	2.1	2.32	50	100	5:00:00	9:03:54	2.1	2.32	8.4	1.546667	0.601
14:05:54	2.05	2.23	50	100	5:00:00	9:05:54	2.05	2.23	2.09	8.36	2.084444444
14:07:54	2.09	2.09	50	100	5:00:00	9:07:54	2.09	2.09	8.36	1.393333	0.401
14:09:54	2.39	2.73	50	100	5:00:00	9:09:54	2.39	2.73	9.56	1.82	
14:11:54	1.47	1.84	50	100	5:00:00	9:11:54	1.47	1.84	5.88	1.226667	
14:13:54	1.03	1.03	50	100	5:00:00	9:13:54	1.03	1.03	4.12	0.686667	
14:15:54	2.04	2.04	50	100	5:00:00	9:15:54	2.04	2.04	8.16	1.36	
14:17:54	1.92	1.92	50	100	5:00:00	9:17:54	1.92	1.92	7.68	1.28	
14:19:54	1.85	2.24	50	100	5:00:00	9:19:54	1.85	2.24	7.4	1.493333	
14:21:47	1.12	1.12	50	100	5:00:00	9:21:47	1.12	1.12	4.48	0.746667	
14:23:47	1.44	1.73	50	100	5:00:00	9:23:47	1.44	1.73	5.76	1.153333	
14:25:47	0.75	1.67	50	100	5:00:00	9:25:47	0.75	1.67	3	1.113333	
14:27:47	1.74	1.98	50	100	5:00:00	9:27:47	1.74	1.98	6.96	1.32	
14:29:47	1.52	1.52	50	100	5:00:00	9:29:47	1.52	1.52	6.08	1.013333	
14:31:47	1.2	1.2	50	100	5:00:00	9:31:47	1.2	1.2	4.8	0.8	
14:33:47	1.33	1.33	50	100	5:00:00	9:33:47	1.33	1.33	5.32	0.886667	
14:35:47	0.53	0.65	50	100	5:00:00	9:35:47	0.53	0.65	2.12	0.433333	
14:37:47	0.46	0.56	50	100	5:00:00	9:37:47	0.46	0.56	1.84	0.373333	
14:39:47	1.2	1.2	50	100	5:00:00	9:39:47	1.2	1.2	4.8	0.8	
14:41:40	1.87	1.87	50	100	5:00:00	9:41:40	1.87	1.87	7.48	1.246667	

Figura A 5

Presencia del parque automotor

